



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR NIKEL (Ni)
TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO DAN
KETAHANAN KOROSI PADUAN TEMBAGA NIKEL (Cu-Ni)
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF UNTUK PENGECORAN
BALL VALVE**

WAHYU HIDAYAT

NRP. 02511440000117

Dosen Pembimbing

Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc

Alvian Toto Wibisono, S.T, M.T

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR NIKEL (Ni) TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN TEMBAGA NIKEL (Cu-Ni) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF UNTUK PENGECORAN BALL VALVE

Wahyu Hidayat
NRP. 02511440000117

Dosen Pembimbing:
Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc
Alvian Toto Wibisono., S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS OF EFFECT OF NICKEL ELEMENTS (Ni)
ADDITION TOWARD MECHANICAL PROPERTIES,
MICRO STRUCTURE AND THE CORROSION
RESILIENCE OF NICKEL AND COPPER ALLOYS
(Cu-Ni) AS ALTERNATIVE MATERIAL FOR BALL
VALVE CASTING**

Wahyu Hidayat
NRP. 02511440000117

Advisors:

Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc.

Alvian Toto Wibisono., S.T, M.T

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR NIKEL
(NI) TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO
DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN TEMBAGA NIKEL
(Cu-Ni) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF UNTUK
PENGECORAN BALL VALVE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

WAHYU HIDAYAT

Nrp. 02511440000117

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| 1. Wikan Jatimurti, ST, M.Sc |(Pembimbing I) |
| 2. Alvian Toto Wibisono, ST, MT |(Pembimbing II) |



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR NIKEL
(Ni) TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO
DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN TEMBAGA NIKEL
(Cu-Ni) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF UNTUK
PENGECORAN BALL VALVE**

Nama Mahasiswa : Wahyu Hidayat
NRP : 02511440000117
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Wikan Jatimurti, ST, M.Sc
Co-Pembimbing : Alvian Toto Wibisono, ST, MT

Abstrak

Ball valve merupakan sebuah alat yang mengatur suatu aliran fluida. Ball valve banyak diaplikasikan di industri petroleum dan industri lainnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni terhadap struktur mikro, ketahanan korosi dan sifat mekanik. Variasi pada paduan yang digunakan adalah penambahan Ni sebesar 10%, 20%, 30% dan 40%wt. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan alat XRF. Transformasi fasa dianalisa menggunakan XRD dan diamati di bawah mikroskop optik. Uji korosi menggunakan metode polarisasi tafel. Pada pengujian tarik, didapatkan nilai ultimate tensile strength (UTS) dan yield strength (YS). Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers. Logam paduan Cu-Ni membentuk fasa tunggal α Cu yang teramati pada hasil pengujian XRD. Fasa tunggal α Cu terdiri dari bagian gelap dan terang pada pengamatan di bawah struktur mikro. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Cu-40Ni sebesar 74,13 VHN. Nilai ultimate tensile strength tertinggi terdapat pada Cu-30Ni sebesar 116,7 MPa. Nilai yield strength tertinggi terdapat pada paduan Cu-30Ni sebesar 112,4 MPa. Nilai corrosion rate tertinggi terdapat pada Cu-40Ni sebesar 0,59 mpy. Dari semua paduan, paduan Cu-30Ni lebih baik dibandingkan paduan Cu-Ni yang lainnya untuk aplikasi material ball valve.

Kata Kunci: *Paduan Cu-Ni, Sifat Mekanik, Struktur Mikro, Korosi*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS OF EFFECT OF NICKEL ELEMENTS (Ni)
ADDITION TOWARD MECHANICAL PROPERTIES,
MICRO STURCTURE AND THE CORROSION
RESISTANCE OF NICKEL AND COPPER ALLOYS (Cu-
Ni) AS ALTERNATIVE MATERIAL FOR BALL VALVE
CASTING**

Student Name : Wahyu Hidayat
Student ID : 02511440000117
Major : Material Engineering
Advisor : Wikan Jatimurti, ST, M.Sc
Co-Advisor : Alvian Toto Wibisono, ST, MT

Abstract

Ball valve is a tool which manage or control the flow of a fluid. Ball valve is much applied in the petroleum industry and other industries. This research aims to analyse the impact of increasing Ni elements in Cu-Ni alloys toward micro structure, corrosion resilience and mechanical properties. The variation of alloys which used is the addition of Ni in the amount of 10%, 20%, 30%, and 40% wt. The testing of the chemical composition is done by using tool XRF. Phase transformation is analysed by using XRD and later observed by optical microscope. Corrosion testing is done by using tafel polarization. For tensile strength testing, the ultimate tensile strength (UTS) value and yield strength (YS) value will be retrieved. Hardness testing by using Vickers method. Cu-Ni alloys will construct single phase α Cu which observed in the result of XRD testing. Single phase α Cu is made from dark side and bright side under the observation in micro structure. The highest hardness is Cu-40Ni alloys which is 74,13 VHN. The highest ultimate tensile strength is Cu-30Ni alloys which is 116,7 MPa The highest yield strength is Cu-30Ni alloys which is 112,4 MPa. The highest corrosion rate is Cu-40Ni alloys which is 0,59 mpy. For all alloys, Cu-30Ni alloys are better than other Cu-Ni alloys for material applications of ball valve.

Keyword: Cu-Ni alloys, Mechanical Properties, micro structure, corrosion

(This page intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR NIKEL (Ni) TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN TEMBAGA NIKEL (Cu-Ni) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF UNTUK PENGECORAN BALL VALVE”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
7. Mas Irfan Purbawanto Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
9. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
10. Nursafira Fathaniah, S.Si, Hara's Family, Labskamarfaris, teman-teman Laquarta, dan teman teman Teknik Mesin Unsyiah yang telah mendukung penulis selama ini.
11. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 21 Desember 2017

Penulis,
Wahyu Hidayat

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Ball Valve</i>	5
2.2 Tembaga	7
2.3 Nikel	15
2.4 Paduan Tembaga Nikel (Cu-Ni)	17
2.5 Sand Casting	21
2.6 Elemen Dari Gating systems	23
2.7 Shrinkage Allowance	37
2.8 Draft Allowance	40
2.9 Machining Allowance	41
2.10 Crucible Furnace.....	42
2.11 Corrosion rate	43
2.12 Solidifikasi Binary Isomorphus	45
2.13 Sifat Physical dari paduan isomorphus	47
2.14 Porositas	48
2.15 Lapisan Pasif Nikel	50
2.16 Penelitian Sebelumnya.....	51

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir.....	57
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	59
3.2.1 Bahan Penelitian	59
3.2.2 Peralatan Penelitian	60
3.3 Variabel Penelitian.....	62
3.4.1 Prosedur Pengecoran	62
3.4.2 Prosedur Pengujian	68
3.4.2.1 Pengujian XRD	68
3.4.2.2 Pengujian Komposisi Kimia	68
3.4.2.3 Pengujian Metalografi.....	69
3.4.2.4 Pengujian Korosi	70
3.4.2.5 Pengujian Tarik.....	72
3.4.2.6 Pengujian Kekerasan	73
3.5 Rancangan Penelitian.....	74

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Cu-Ni.....	77
4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Ni.....	78
4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Cu-Ni.....	80
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Ni.....	82
4.5 Pengamatan Hasil Pengujian Tarik Paduan Cu-Ni.....	85
4.6 Pengamatan Hasil Tafel Paduan Cu-Ni.....	93
4.7 Pengamatan Hasil Uji Kekerasan Paduan Cu-Ni	96
4.8 Perbandingan Material Standard Dengan Paduan Cu-10Ni	99

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	103

DAFTAR PUSTAKA	xix
-----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	xxii
----------------------	-------------

BIODATA PENULIS.....	xxxvi
-----------------------------	--------------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen tiap bagian <i>ball valve</i>	6
Gambar 2.2 <i>Face-centered cubic</i> (FCC)	9
Gambar 2.3 Diagram fasa Cu-Ni	17
Gambar 2.4 <i>Substitutional solid solution</i>	19
Gambar 2.5 Komposisi <i>clay</i>	22
Gambar 2.6 Komposisi air	22
Gambar 2.7 Elemen <i>gating systems</i>	23
Gambar 2.8 Pouring basin	24
Gambar 2.9 Ukuran <i>sprue</i> dan <i>pouring basin</i>	25
Gambar 2.10 Tipe <i>sprue</i>	26
Gambar 2.11 Tipe <i>runner</i>	27
Gambar 2.12 Tipe <i>ingate</i>	30
Gambar 2.13 Jenis <i>ingate</i>	31
Gambar 2.14 Grafik metode <i>caine's</i>	34
Gambar 2.15 Grafik metode <i>Naval Research Laboratory</i>	35
Gambar 2.16 Jangkauan satu riser	36
Gambar 2.17 Jangkaun riser yang ditambahkan chill	36
Gambar 2.18 Grafik penentuan jenis riser	37
Gambar 2.19 <i>Crucible</i>	43
Gambar 2.20 Ilustrasi pendinginan hasil coran 70%Ni + 30% Cu	46
Gambar 2.21 Pengaruh komposisi paduan terhadap properties paduan Ag-Au	47
Gambar 2.22 Cacat Porositas Gas	49
Gambar 2.23 Cacat Porositas Shrinkage	50
Gambar 2. 24 Hasil XRD untuk paduan CuNi beberapa komposisi	52
Gambar 2.25 Grafik stress-strainn 70%Cu-30%Ni yang di tes pada temperature berbeda	53
Gambar 2.26 Pengamatan pada Mikroskop Optik Paduan Cu-6Ni-8Sn	55

Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 3.2	Tembaga <i>Rod</i> (Cu)	59
Gambar 3.3	Nikel <i>Sheet</i> (Ni)	59
Gambar 3.4	Pola Cetakan Komponen	61
Gambar 3.5	Pola Cetakan Pasir.....	66
Gambar 3.6	Skema <i>Crucible Furnace</i>	67
Gambar 3.7	Prinsip Kerja Pengujian XRD	68
Gambar 3.8	Prinsip Pengujian Komposisi Kimia.....	69
Gambar 3.9	Arah Cahaya pada Pengujian Metalografi	70
Gambar 3.10	Grafik pengujian Tafel	71
Gambar 3.11	Prinsip Uji Tarik.....	73
Gambar 3.12	Alat Uji <i>Vickers</i>	74
Gambar 4.1	Hasil Pengecoran Paduan Cu-Ni.....	77
Gambar 4.2	Pola XRD Paduan Cu-Ni.....	81
Gambar 4.3	Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Ni(As-Cast)	83
Gambar 4.4	Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Paduan Cu-Ni	86
Gambar 4.5	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Paduan Cu-Ni	88
Gambar 4.6	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai <i>Yield Strength</i> Paduan Cu-Ni.....	90
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Material AISI 430 dengan Logam Cu-Ni	92
Gambar 4.8	Grafik polarisasi Paduan Cu-Ni.....	93
Gambar 4.9	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai <i>corrosion rate (mpy)</i> Paduan Cu-Ni	95
Gambar 4.10	Perbandingan Nilai <i>corrosion rate (mpy)</i> Material AISI 430 dengan Logam Cu-Ni.....	96
Gambar 4.11	Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Material AISI 430	7
Tabel 2.2 Kekuatan Mekanik AISI 430	7
Tabel 2.3 Standar Spesifikasi Material Ball Valve	7
Tabel 2.4 Data dasar tembaga	8
Tabel 2.5 Klasifikasi <i>Wrought Alloys</i>	10
Tabel 2.6 Klasifikasi <i>copper-nickel</i>	11
Tabel 2.7 Klasifikasi <i>Cast Alloys</i>	11
Tabel 2.8 Sifat dan Aplikasi Umum dari <i>Wrought Copper</i> dan <i>Copper Cast Alloy</i>	13
Tabel 2.9 Data dasar nikel	15
Tabel 2.10 Ratio gating system	28
Tabel 2.11 Volum penyusutan liquid	33
Tabel 2.12 <i>Shrinkage allowance</i> untuk beberapa logam	38
Tabel 2.13 Nilai <i>draft pattern</i>	40
Tabel 2.14 <i>Machining allowance</i>	42
Tabel 2.15 Tingkatan <i>corrosion rate</i>	44
Tabel 3.1 Perhitungan <i>Gating</i> Sistem	65
Tabel 3.2 Komposisi Berat <i>Raw Material Input</i>	66
Tabel 3.3 Rancangan Penelitian	75
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Cu-Ni (% wt)	78
Tabel 4.2 Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Paduan Cu-Ni	87
Tabel 4.3 Nilai <i>Yield Strength</i> Paduan Cu-Ni	89
Tabel 4.4 Nilai Kekuatan Tarik Material baja AISI 430 dengan paduan Cu-Ni	91
Tabel 4.5 Nilai Corrosion Rate paduan Cu-Ni dan AIS	93
Tabel 4.6 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni	97
Tabel 4.6 Perbandingan Material AISI 430 dan Paduan Cu-Ni	99

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ball valve atau biasanya disebut katup merupakan sebuah alat yang mengatur atau mengontrol aliran dari suatu fluida (cairan atau gas) dengan membuka atau menutup atau membuka sebagian dari jalan aliran. *Ball valve* banyak di aplikasikan di industri *petroleum* dan industri lainnya. *Ball valve* terdiri dari beberapa komponen yaitu *shaft*, *plug*, dan lain-lain. Salah satu komponen terpenting didalam *ball valve* ialah *shaft valve* yang mengatur tekanan fluida dan komponen tersebut menahan langsung tekanan yang diberikan fluida. Ketika dalam kondisi kerja, *shaft ball valve* berada pada atmosfer kerja pada tekanan 0,14-72 MPa dan berada di temperatur 38-538 °C Oleh karena itu, komponen *shaft ball valve* diperlukan material yang kuat dan tahan korosi untuk menghindari kebocoran aliran. Material yang umum dipakai pada *shaft ball valve* adalah *low-alloy feritic steel* yaitu baja AISI 430. (ASME, 2013)

Sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh AISI 430 sesuai dan baik untuk di aplikasikan *shaft ball valve*. Pada temperatur kerja 38-538 °C baja AISI 430 memiliki nilai tensile strength sebesar 415 MPa serta nilai *yield strength* sebesar 205 MPa menunjukkan bahwa material baja AISI 430 merupakan material yang kuat. (ASM, 2001)

Material AISI 430 ialah material yang tergolong pada kelompok *stainless steel*. Material AISI 430 memiliki kandungan nikel sebesar 0,5 %, kromium sebesar 16-18 %, karbon sebesar 0,12 %, fosfor sebesar 0,04%, sulfur sebesar 0,03%, *silicon* sebesar 1% dan besi sebesar sisanya serta memiliki masa jenis sebesar 7,74 g/cm³. Sifat lainnya yang dimiliki material baja AISI 430 ialah ketahanan korosi yang baik namun masih kurang baik dibandingkan tipe yang lain dalam satu kelompok *stainless steel* seperti *austenitic stainless steel*. Ketahanan korosi ini dikarenakan adanya kandungan kromium pada material tersebut. Oksigen dan



kromium bereaksi membentuk lapisan oksida membentuk *protective layer* sehingga dapat mencegah reaksi Fe dengan oksigen.

Untuk aplikasi *shaft ball valve*, metode manufaktur yang biasa digunakan ialah pengecoran. Kekurangan material baja AISI 430 ialah terdapat pada proses peleburannya yang memerlukan temperatur tinggi sehingga sedikit kesulitan dalam proses penuangan ke dalam cetakan. Selanjutnya biaya produksi untuk membuat material dari baja AISI relatif mahal. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif yang untuk pembuatan *shaft ball valve* yang mudah di buat dan relatif murah namun tanpa menghilangkan sifat dan karakteristik yang harus dipenuhi seseui dengan standar untuk aplikasi *shaft ball valve*.

Peluang untuk pengembangan material alternatif untuk komponen *shaft ball valve* salah satunya ialah paduan tembaga-nikel (Cu-Ni). Dilihat dari sifat logamnya, tembaga(Cu) memiliki sifat korosi yang baik dan nikel(Ni) memiliki sifat kekuatan yang baik sehingga material paduan tembaga-nikel diharapkan menjadi material alternatif untuk komponen *shaft ball valve*.

Penelitian sebelumnya mengenai paduan tembaga-nikel (Cu-Ni) pada komponen sudu turbin, dengan penambahan nikel (Ni) menyebabkan naiknya kekuatan tarik paduan. Namun, masih ada kekurangan dalam hal cacat yang ada pada spesimen hasil coran. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan proses pengecoran berupa *gating system* agar dapat mengurangi cacat yang dihasilkan.

Penelitian lebih lanjut paduan tembaga-nikel (Cu-Ni) untuk aplikasi *shaft ball valve* dilakukan dengan metode pengecoran. Variasi yang diberikan pada perbedaan komposisi dan perbaikan *gating system* yang kemudian dianalisa pengaruh yang terjadi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang menjadi penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) pada struktur mikro paduan Cu-Ni?



2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) terhadap sifat mekanik paduan Cu-Ni?
3. Bagaimana pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) pada ketahanan korosi paduan Cu-Ni?
4. Apakah material paduan Cu-Ni memenuhi standar material ball valve?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) pada struktur mikro paduan Cu-Ni
2. Menganalisa pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) terhadap sifat mekanik paduan Cu-Ni
3. Menganalisa pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) pada ketahanan korosi paduan Cu-Ni
4. Mengetahui material paduan Cu-Ni memenuhi standar material ball valve

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tekanan bahan bakar dan udara dianggap konstan
2. Panas yang terbuang selama proses peleburan diabaikan
3. Reaksi antara logam cair dengan oksigen diabaikan
4. Reaksi antara cetakan pasir dengan logam diabaikan
5. Proses pemaduan dianggap homogen
6. Proses solidifikasi dilakukan dengan pendinginan lambat di dalam cetakan

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini akan diketahui pengaruh variasi penambahan nikel (Ni) yang ditambahkan pada paduan tembaga (Cu) terhadap nilai kekuatan tarik, kekerasan serta struktur mikro paduan Cu-Ni. Pengecoran logam Cu-Ni diharapkan dapat bermanfaat sebagai literatur maupun pengembangan penelitian



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

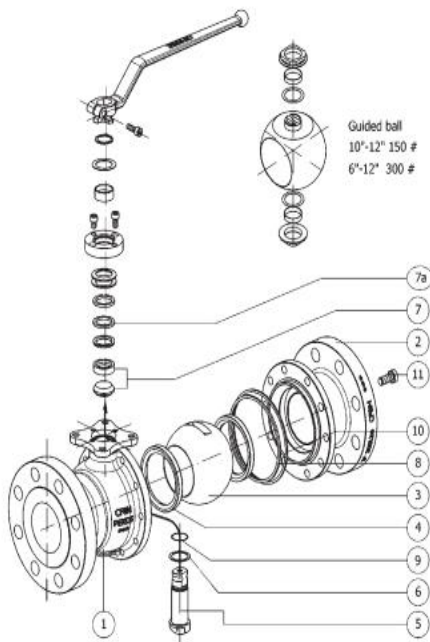
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ball Valve

Ball valve atau bola katup merupakan salah satu perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran suatu fluida (cairan atau gas) dengan membuka atau menutup *shaft/ball*-nya. *Ball valve* merupakan salah satu tipe *valve* yang diklasifikasikan dalam kelompok *valve* untuk aplikasi industri khusus yang mengalirkan materi pada temperatur tinggi seperti industri minyak, kimia dan lain-lain. *Ball valve* dilengkapi dengan komponen khusus untuk dapat diaplikasikan pada teMPat khusus yang mudah menguap seperti pada tekanan tinggi yang menyebabkan kavitasi. Penggunaan *ball valve* dapat meminamilisasikan efek atau daMPak dari tekanan tinggi.

Ball valve terdiri dari dua tipe berdasarkan alirannya yaitu *full-port valve* dan *reduced-port valve*. *Full-port valve* merupakan tipe *ball valve* yang diameter bola/*shaft* sama dengan diameter pipanya. *Valve* atau katup ini banyak digunakan di *piggable line*, *pipeline*, dan *on-off blocking*. Sedangkan tipe *reduced-port* merupakan tipe katup yang ukuran diameter *ball/shaft*-nya lebih kecil dari pipanya.

Proses pengoperasian *ball valve* yaitu ketika membuka *port ball*-nya. Saat membuka *port* bola, fluida akan mengalir terus berlanjut tanpa gangguan dan mengalami penurunan tekanan. Penurunan tekanan ketika membuka *port* secara perlahan. Aliran akan tertutup jika posisi *ball* sejajar dengan aliran. Ketika posisi *ball* tegak lurus dengan aliran maka fluida akan mengalir dan tekanan pun akan turun. (L. Skousen, 1998)



No	Keterangan Komponen
1-2	Body
3	Ball
4	Seats
5	Stem
6	Stem Seal
7	Packing 1
7a	Packing 2
8	Seal Body 1
9	Oring Stem
10	Seal Body 2
11	Bolts Body

Gambar 2.1 Komponen tiap bagian *ball valve* (L. Skousen, 1998)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan beberapa komponen penyusun *ball valve* yang terdiri dari *body*, *ball*, *seat*, *stem*, *stem seal*, *packing 1&2*, *seal body 1&2*, *oring stem*, dan *bolts body*. Kerusakan umum yang pada *ball valve* ialah kebocoran. Penyebab kebocoran yang mungkin ialah proses erosi atau pengikisan, kesalahan teknis pada pemasangan *seal*, gesekan antara dua permukaan tempat duduk antara *seal* dan bola, kerusakan yang dikarenakan adanya objek asing yang terjebak antara *seal* dan bola, atau kerusakan karena terjadinya kavitasi pada bola (L. Skousen, 1998).

Tabel 2.1 Komposisi Material AISI 430 (ASM International, 2001)



Type	UNS	Composition %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Others
430	S43000	0.12	1	1	16-18	-	0.04	0.03	

Tabel 2.2 Kekuatan Mekanik AISI 430 (ASM International, 2001)

Material	Kondisi	Tensile Strength (MPa)	0,2% Yield Strength (MPa)	Elongation %	Hardness VHN	ASTM
S43000	Annealed	415	205	20	90	S43000

Tabel 2.3 Standar Spesifikasi Material Ball Valve (ASM International, 2001)

Material Untuk Ball Valve	
Properties	Standard
Corrosion Rate	0,9 mpy
Tensile Strength	415 MPa
Hardness	90 VHN
Yield Strength	205 MPa

Pada umumnya material di pakai untuk komponen *ball valve* ialah baja AISI 430. Pada Tabel 2.1 menunjukan komposisi AISI 430 dan Tabel 2.2 menunjukan sifat mekanik AISI 430 serta pada Tabel 2.3 menunjukan spesifikasi material standar *ball valve*

2.2 Tembaga

Tembaga dan paduan tembaga-base memiliki kombinasi sifat fisik yang diinginkan, telah digunakan dalam berbagai aplikasi sejak zaman dahulu. Selain itu, tembaga memiliki daya tahan korosi yang tinggi diberbagai lingkungan misalnya di lingkungan atmosfer, air laut, dan beberapa industri kimia. Sifat mekanik dan tahan korosi tembaga dapat ditingkatkan dengan penambahan paduan. Pada Tabel 2.4 menunjukan data dasar



tembaga. Hal yang tidak disukai dari paduan tembaga adalah sedikit lembut dan lunak (*ductile*) sehingga sulit di mesin dan juga tidak memiliki batasan kapasitas untuk *cold work*. Kebanyakan paduan tembaga tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Akibatnya, *cold working* atau *solid solution alloying* harus digunakan untuk memperbaiki sifat mekaniknya (D. callister, 2014)

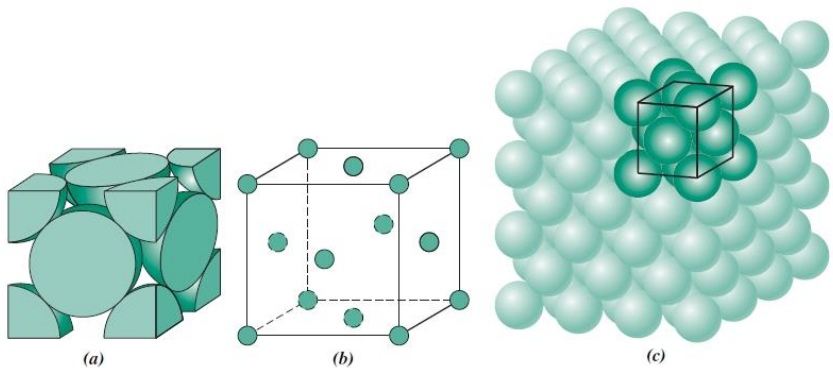
Tabel 2.4 Data dasar tembaga (P. Groover, 2010)

Tembaga	
Simbol	Cu
Nomor Atom	29
Spesifik Gravity	8.96 gr/cm ³
Struktur Kristal	FCC
Temperatur Melting	1083 °C (1981 °F)
Modulus Elastis	110,000 MPa (16 x 10 ⁶ lb/in ²)
Berasal dari Ore	<i>chalcopryrite</i> (CuFeS ₂), <i>azurite</i> (Cu ₃ [OH-Co ₃] ₂), <i>malachite</i> (Cu ₂ [OH-Co ₃] ₂), dan <i>cuprite</i> (Cu ₂ O)
Elemen Paduan	Tin (<i>bronze</i>), zinc (<i>brass</i>), aluminium, <i>silicon</i> , nikel, dan <i>beryllium</i>
Aplikasi	Komponen konduktor listrik, wajan dan perhiasan. Aplikasi kelautan seperti <i>Heat-exchanger</i> , <i>spring</i> (Be-Cu), dan komponen perpipaan

Selain memiliki sifat daya tahan korosi yang tinggi, sifat penting pada tembaga yang pada umumnya antara lain:

1. Elektrikal yang baik
2. Thermal konduktivitas yang tinggi
3. Memiliki *Machinenibily* yang baik
4. Memiliki kekuatan yang tinggi

5. Mudah difabrikasi (Avner, 1974)



Gambar 2.2 *Face-centered cubic* (FCC); (a) Representasi unit *cell* dalam bentuk potongan bola, (b) Representasi unit *cell* bola dalam sebuah susunan rangka, (c) Representasi dalam keseluruhan atom-atom (D. callister, 2014)

Pada Gambar 2.2 menunjukkan susunan struktur atom dalam bentuk FCC dimana tembaga adalah logam *non-polymorphous* dengan kisi kristal *face-centered cubic* (FCC). Susunan atom pada suatu benda menentukan sifat mekaniknya. Tembaga murni berwarna kemerahan dan dengan penambahan seng menghasilkan warna kuning serta penambahan nikel menghasilkan warna perak. Temperatur lelehnya adalah 1083 °C dan densitasnya 8,9 kg/m³ (Tabel 2.4). Sifat mekanik tembaga tergantung pada struktur kisinya. Tembaga memiliki ketangguhan yang baik pada temperatur kamar. Meningkatnya temperatur kerja menyebabkan munurunnya kekuatan tembaga. Saat *as cast* yaitu komponen hasil coran, tembaga memiliki kekuatan 160 MPa. Dengan hot rolling kekuatan tembaga meningkat menjadi 220 MPa (Collini, 2012).

Selain itu, tembaga memiliki sistem Penamaan *Unified Numbering System* (UNS) merupakan sistem penamaan yang diterima secara luas untuk produk *wrought copper*, *cast copper*, dan paduan tembaga. Sebagai contoh, *Copper Alloy No. 993* menjadi C93300 dalam sistem penamaan UNS. Sistem penamaan



ini kemudian disusun oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan *Society of Automotive Engineers* (SAE). Pembagian Kategori secara lengkap akan ditunjukkan pada Tabel 2.5, Tabel 2.6, dan Tabel 2.7 (ASM International, 2001).

Tabel 2.5 Klasifikasi *Wrought Alloys* (ASM International, 2001)

<i>Wrought Alloys</i>	No. UNS	Komposisi
<i>Coppers (a)</i>	C10100-C15815	>99% Cu
<i>High-copper alloys (b)</i>	C16200-C19900	>96% Cu
<i>Brasses</i>	C20100-C28000	Cu-Zn
<i>Leaded brass</i>	C31200-C38500	Cu-Zn-Pb
<i>Tin brasses</i>	C40400-C48600	Cu-Zn-Sn-Pb
<i>Phosphor bronzes</i>	C501000-C52480	Cu-Sn-P
<i>Leaded phosphor bronzes</i>	C53400-C54400	Cu-Sn-Pb-P
<i>Copper-phosphorus and copper-silver-phosphorus alloy (c)</i>	C55180-C55284	Cu-P-Ag
<i>Alumunium bronzes</i>	C60800-C64210	Cu-Al-Ni-Fe-Sn
<i>Silicon bronzes</i>	C64700-C66100	Cu-Si-Sn
<i>Copper-Zinc alloys</i>	C66300-C69710	Cu-Zn-Mn-Fe-Sn-Al-Si-Cu
<i>Copper Nickels</i>	C70100-C72950	Cu-Ni-Fe
<i>Nickel Silvers</i>	C73500-C79830	Cu-Ni-Zn

Tabel 2.6 Klasifikasi *copper-nickel* (ASM International, 2001)



No. UNS	Komposisi (%)	Tensile strength		Yield strength		Applikasi
		MPa	Ksi	MPa	Ksi	
C96200	88,6Cu, 10 Ni, 1,4 Fe	310	45	172	25	Komponen <i>sea water</i>
C96300	79,3Cu, 20 Ni, 0,7 Fe	517	75	379	55	<i>Centrifugally cast tailshaft sleeves</i>
C96400	69,1Cu, 30 Ni, 0,9 Fe	469	68	255	37	<i>Valves, pump bodies, flanges, elbows used for seawater corrosion resistance</i>
C96600	68,5Cu, 30 Ni, 1Fe, 0,5Be	758	110	482	70	<i>High-strength constructional parts for seawater corrosion resistance</i>
C96700	67,6Cu, 30 Ni, 0,9Fe, 1,15Be, 0,15Zr, 0,15Ti	1207	175	552	80	<i>Corrosion- resistant molds for plastics, highstrength constructional parts for seawater use</i>

Tabel 2.7 Klasifikasi *Cast Alloys* (ASM International, 2001)

<i>Cast Alloys</i>	No.UNS	Komposisi
<i>Coppers (a)</i>	C80100-C81200	> 99% Cu
<i>High-copper alloys (d)</i>	C81400-C82800	> 94% Cu
<i>Red and leaded red brasses</i>	C83300-C83810	Cu-Sn-Zn-Pb (82- 94% Cu)



Cast Alloys	No.UNS	Komposisi
<i>Semi-red and leaded semi-red brasses</i>	C84200-84800	Cu-Sn-Zn-Pb (75-82% Cu)
<i>Yellow and leaded yellow brasses</i>	C85200-C85800	Cu-Zn-Pb
<i>Manganese bronzes and leaded manganese bronzes (e)</i>	C86100-C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
<i>Silicon brasses/bronzes</i>	C87300-C87800	Cu-Zn-Si
<i>Copper-bismuth and copper-bismuth-selenium alloys</i>	C89320-C89940	Cu-Sn-Bi-Se
<i>Tin bronzes</i>	C90200-C91700	Cu-Sn-Zn
<i>Leaded tin bronzes</i>	C92200-94500	Cu-Sn-Zn-Pb
<i>Nickel-tin bronzes</i>	C94700-C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
<i>Aluminium bronzes</i>	C95200-C95900	Cu-Al-Fe-Ni
<i>Copper nickels</i>	C96200-C96950	Cu-Ni-Fe
<i>Nickel silvers</i>	C97300-C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
<i>Leaded coppers</i>	C98200-C98840	Cu-Pb
<i>Special alloys</i>	C99300-C99750	Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Co-Sn-Pb

Pengaruh dari klasifikasi ini membantu para peneliti maupun industri untuk mendapatkan material dari tembaga ini di pasaran. Hampir seluruh elemen penyedia material menggunakan klasifikasi ini untuk mempromosikan barangnya kepada konsumen. Secara tidak langsung, kedua pihak tersebut sudah terbiasa dengan penomoran serta sifat yang dimiliki oleh masing masing nomor klasifikasi tersebut. Untuk penggunaan aplikasi dari tembaga dan paduannya, baik itu *wrought copper* dan *copper cast alloy* berdasarkan *Unified Numbering System* (UNS), dapat kita lihat pada Tabel 2.8 (ASM International, 2001).



Tabel 2.8 Sifat dan Aplikasi Umum dari *Wrought Copper* dan *Copper Cast Alloy* (ASM International, 2001)

<i>Type and UNS number</i>	<i>Nominal composition (%)</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>Electrolytic tough-pitch copper (C11000)</i>	99,9 Cu 0,04 O	220 – 450	70 – 365	<i>Downspouts, gutters, roofing, gaskets, auto radiators</i>
<i>Red brass, 85% (C23000)</i>	85,0 Cu 15,0 Zn	270 – 725	70 – 435	<i>Weather stripping, conduits, sockets, condenser</i>
<i>Cartridge brass, 70%</i>	70,0 Cu 30,0 Zn	300 – 900	75 – 450	<i>Radioator cores and tanks, flashlight shells, lamp fixtures</i>
<i>Free-cutting brass (C36000)</i>	61,5 Cu 3,0 Pb 35,5 Zn	340 - 470	125 – 310	<i>Gears, pinions, screw machine parts</i>
<i>Naval brass (C46400)</i>	60,0 Cu 39,25 Zn 0,75 Sn	380 – 610	170 – 455	<i>Aircraft turnbuckles barrels, marine</i>



<i>Type and UNS number</i>	<i>Nominal composition (%)</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>to C46700)</i>				<i>hardware, propeller shafts</i>
<i>Phosphor bronze (C59500)</i>	98,75 Cu 1,25 Sn Trace P	276 - 545	97 – 345	<i>Bearings, gears, valve parts</i>
<i>Aluminum bronze (C61400)</i>	91,0 Cu 7,0 Al 2,0 Fe	524 - 614	228 – 414	<i>Nuts, Bolts, Machine Parts, Condenser Tube</i>
<i>Manganese Brass (C66700)</i>	70,0 Cu 28,8 Zn 1,2 Mn	315 - 689	83 – 638	<i>Seam, butt welding, brasses product welding resistance</i>
<i>Silicon Red Brass (C69400)</i>	81,5 Cu 14,5 Zn 4,0 Si	552 - 689	276 – 393	<i>Valve systems where corrosion resistance are critical</i>
<i>Copper Nickel (C70600)</i>	88,7 Cu 1,3 Fe 10,0 Ni	303 – 414	110 – 393	<i>Condenser plates, distiller tubing, saltwater piping</i>



<i>Type and UNS number</i>	<i>Nominal composition (%)</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>Nickel Silver (C74500)</i>	65,0 Cu 25,0 Zn 10,0 Ni	338 – 896	124 - 524	<i>Rivets, optical parts, screws</i>
<i>Leaded Nickel Silver (C78200)</i>	65,0 Cu 2,0 Pb 25,0 Zn 8,0 Ni	365 – 627	159 – 524	<i>Key blanks, watch parts</i>

2.3 Nikel

Nikel (Ni) mirip dengan iron dalam berbagai hal, sifat magnetic dan modulus elastisnya hampir sama dengan besi dan baja. Namun, nikel lebih unggul dalam hal daya tahan korosi dan sifat pada aplikasi temperatur tinggi. Oleh karena memiliki daya tahan korosi yang tinggi, elemen nikel banyak digunakan untuk memadukan di baja seperti stainless steel (mengandung Ni 8-, sebagai pelapis logam dan lainnya. Pada Tabel 2.9 menunjukkan sifat umum dan aplikasi nikel (P. Groover, 2010).

Tabel 2.9 Data dasar nikel (P. Groover, 2010)

Nikel	
Simbol	Ni
Nomor Atom	28
Gravity Spesifik	8,90 gr/cm ³
Struktur Kristal	FCC
Temperatur <i>Melting</i>	1453 °C (2647 °F)
Modulus Elastis	209,000 MPa (30x10 ⁶ lb/in ²)
Berasal dari <i>Ore</i>	<i>Pentlandite</i> ((FeNi) ₉ S ₈)
Elemen Paduan	Tembaga, Kromium, Besi, Aluminium



Aplikasi	Bahan paduan <i>stainless steel</i> , pelapis logam untuk steel, aplikasi yang membutuhkan temperature tinggi dan ketahanan korosi yang tinggi
----------	--

Nikel dan paduannya sangat penting untuk industri modern karena kemampuan tahannya terhadap lingkungan korosif, temperatur tinggi, Tekanan tinggi, dan lain-lain. Kemampuan tersebut disebabkan oleh beberapa hal. Nikel murni bersifat ulet/lunak dikarenakan memiliki struktur *face-centered cubic* yang memiliki titik leleh 1453 °C (2647 °F). Oleh karena itu, Nikel dan paduannya mudah dibuat dengan metode konvensional seperti teMPa, cor, dan metalurgi serbuk.

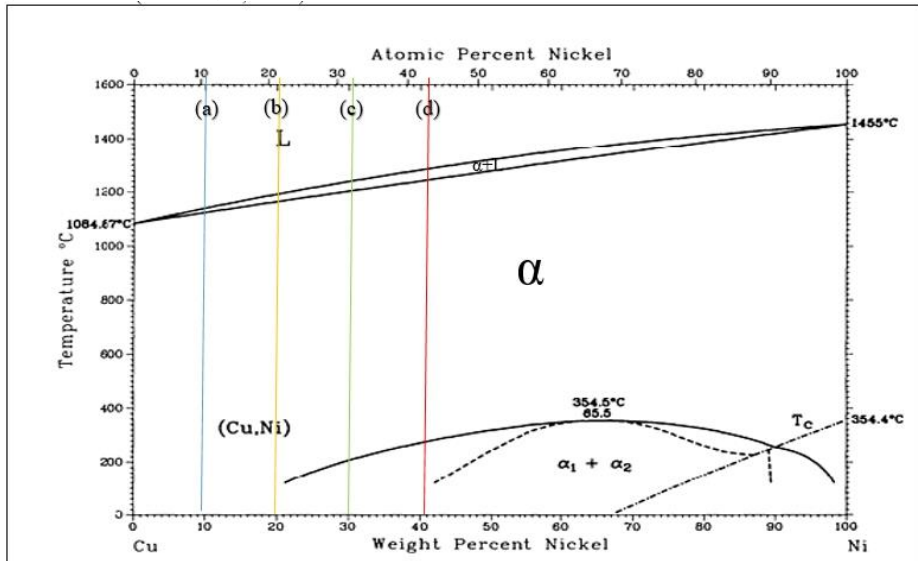
Produk dari nikel dan paduannya dapat dengan mudah membuat dari lunak ke getas. Nikel memiliki ketahanan korosi yang baik pada atmosfer normal seperti di air, lingkungan asam dan lain-lain. Nikel memiliki kelarutan padat yang dapat dipadukan dengan berbagai elemen unsur. Mikrostruktur paduan nikel terdiri dari *austenite solid-solution* FCC(Y) dimana dapat membentuk partikel persipitat dan dispersoid. Bentuk nikel yang larut padat sempurna dengan tembaga dan hampir larut sempurna dengan besi dapat larut dengan penambahan 35%Cr, masing-masing 5-10% Al dan Ti, dan masing-masing 20% Mo dan W. Dengan kelarutan tersebut, dapat memberikan solusi untuk pengerasan dan perbaikan ketahanan korosi (R. Davis J, 2000).

2.4 Paduan Tembaga Nikel (Cu-Ni)

Tembaga-nikel merupakan paduan yang larut sempurna dalam kondisi liquid maupun solid. Paduan tembaga nikel memiliki kekuatan yang baik pada temperatur normal/kamar maupun pada temperatur tinggi, memiliki batas fatigue yang baik, dan memiliki daya tahan korosi yang baik. Tembaga nikel memiliki diagram fasa sistem *binary isomorphous* (Gambar 2.3). Paduan Cu-Ni disebut isomorphus karena kedua atom tersebut



melarutpadatkan sempurna dalam segala fasa yaitu solid dan cair (D. callister, 2014).



Gambar 2.3 Diagram fasa Cu-Ni (D. callister, 2014)

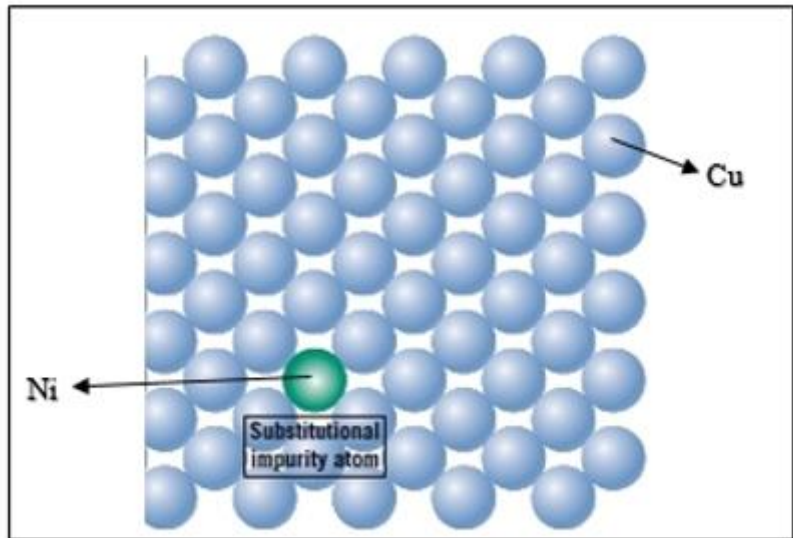
Pada Gambar 2.3 Diagram fasa Cu-Ni, terdiri dari 4 titik paduan Cu-Ni yaitu (a) Cu-10%Ni, (b) Cu-20%Ni, (c) Cu-30%Ni, dan (d) Cu-40%Ni. Pada diagram fasa Cu-Ni terdiri dari beberapa fase yaitu liquid (L), α +L, α , dan $\alpha_1 + \alpha_2$. Fase liquid (L) ialah cairan yang homogen yang tersusun dari tembaga nikel. Fase α merupakan solution solid substitutional yang terdiri dari atom Cu dan Ni serta memiliki struktur Kristal FCC. Pada temperatur dibawah 1080 °C, tembaga nikel saling larut sama lain dalam keadaan padat untuk semua komposisi. Faktanya Cu dan Ni memiliki struktur Kristal yang sama yaitu FCC, memiliki jari-jari atom dan keelektronegatifan yang identik serta memiliki valensi yang sama. (D. callister, 2014)

Paduan tembaga nikel dengan kandungan nikel rendah (dibawah 10%) penggunaannya sangat terbatas. Paduan dengan kandungan nikel (15-30%) memiliki ketahanan korosi yang baik



dan paduan dengan nikel (25%) digunakan untuk memproduksi uang koin dan kandungan nikel diatas 30% digunakan untuk industri kimia dan industri makanan (Collini, 2012).

Konsep fasa liquid dan gas mudah untuk dipahami karena bercampur di segala kondisi. Pada konsep fasa padat, logam terlarut (*solute*) akan masuk dan menjadi bagian dari kristal logam pelarut (*solvent*) tanpa mengubah struktur awalnya. Terdapat dua jenis larutan padat, yaitu *substitutional solid solution* dan *interstitial solid solution*. *Substitutional solid solution* yaitu ketika logam terlarut akan menggantikan posisi logam pelarut pada struktur kristal. Kondisi larutan padat ini biasanya terjadi ketika jari-jari salah satu atom hampir sama besar dengan jari jari atom kedua. *Interstitial solid solution* yaitu ketika logam terlarut akan masuk diantara logam pelarut pada struktur kristal. Kondisi larutan padat ini biasanya terjadi ketika jari-jari salah satu atom jauh lebih besar dari jari jari atom kedua. Pada larutan padat isomorphus akan selalu memiliki jenis substitutional dan Gambar 2.4 merupakan contoh dari *substitutional solid solution* pada atom tembaga dan nikel (D. callister, 2014).



Gambar 2.4 *Substitutional solid solution* (D. callister, 2014)

Perubahan fasa yang menjelaskan pembekuan pada kondisi equilibrium sebuah paduan dapat dibaca dari diagram fasa dengan mengobservasi fasa fasa dan komposisi pada temperatur rendah. Solidifikasi dari paduan dimulai dengan penampakan dari partikel padat yang kecil (*nuclei*) dimana logam yang mengandung lebih tinggi temperatur melting akan berbentuk solid lebih dahulu. Pada inti kristal, lapisan secara berturut-turut dari fasa *solid* akan berkumpul, masing masing lapisan akan sedikit lebih kaya inti daripada lapisan pendahulu pada komponen cair yang rendah dan begitu seterusnya. Fasa akhir padat akan terbentuk, dengan inti dimana logam yang memiliki lebih tinggi temperatur *melting* akan dikelilingi logam dengan temperatur melting lebih rendah. Kasus yang terjadi pada Gambar 2.4 yaitu paduan tembaga-nikel, maka akan terbentuk inti logam nikel yang lebih banyak mengelilingi logam tembaga yang berada pada bagian batas butir (Collini, 2012).



Kebanyakan logam tidaklah murni, terdapat element lain yang membentuk paduan atau element lain ditambahkan untuk memberi dampak spesifik terhadap karakter pada suatu material. Element lain tersebut biasanya disebut *impurity*. Nyatanya, paduan digunakan pada logam untuk memperbaiki kekuatan mekanik dan ketahanan korosi. Paduan dengan tembaga secara signifikan meningkatkan kekuatan mekanik tanpa menurunkan ketahanan korosi. Penambahan *impurity* pada suatu logam akan menghasilkan formasi atau bentuk solid solution dan atau sebuah phase kedua yang baru, tergantung dari jenis *impurity*, komposisinya, dan temperatur paduan. Beberapa istilah yang berhubungan solid solution dan *impurity* ialah zat terlarut (*solute*) dan zat pelarut (*solvent*). Zat pelarut (*solvent*) mewakili element dari jumlah yang banyak yang terdapat pada paduan atau disebut *host atoms*. Zat terlarut (*solute*) ialah sebuah element yang terkecil dalam

Solid solution terbentuk ketika atom zat terlarut (*solute*) ditambahkan di *host material*, struktur kristal tetap seperti bentuk awal dan tidak terbentuk struktur yang baru. Ketika dua larutan yang saling dapat melarutkan, larutan tersebut menghasilkan campuran yang homogen. Larutan padatan juga dapat berbentuk homogen, atom pengotor atau *impurity* secara acak dan seragam menyebar didalam padatan. Cacat titik *impurity* ditemukan didalam larutan padatan, yang terdiri dari dua tipe yaitu *substitutional* dan *interstitial*. Untuk tipe *substitutional*, zat terlarut atau atom *impurity* atau pengotor menggantikan atom *host*. Ada beberapa ciri dari atom pelarut dan pelarut yang menentukan tingkat dimana pelarut pertama dilarutkan dalam yang terakhir, sebagai berikut:

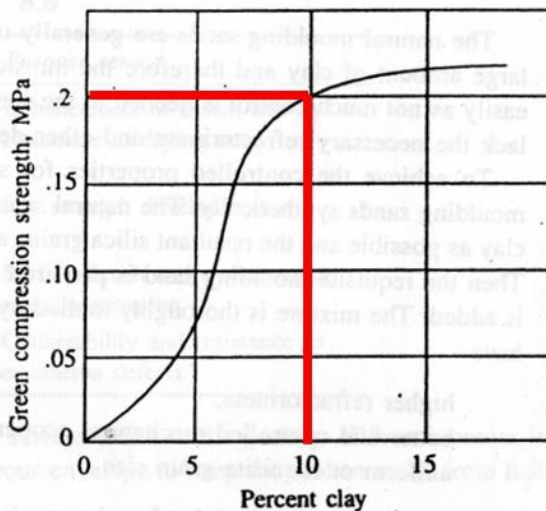
1. Ukuran atom, jumlah zat terlarut yang cukup besar dapat dikelompokkan kedalam tipe larutan padatan hanya ketika adanya perbedaan jari-jari atom antara 2 tipe atom. Sebaliknya ketika atom zat terlarut akan membentuk distorsi kisi dan akan membentuk fasa baru
2. Struktur Kristal, untuk kelarutan padatan yang cukup besar, struktur Kristal antara dua atom logam harus sama



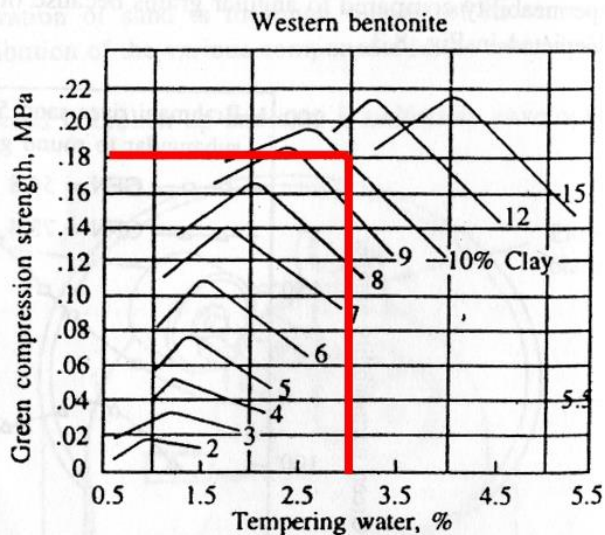
3. *Electronegativity*, Semakin besar perbedaan keelektronegatifan, maka akan membentuk senyawa intermetalik bukan larutan padat *substitutional*
4. Valensi, logam akan memiliki kecenderungan melarutkan logam lain dengan valensi lebih tinggi daripada valensi yang lebih rendah (D. Callister, 2014)

2.5 Sand Casting

Pasir yang paling banyak digunakan yaitu pasir *silica* (SiO_2). Pasir ini sangat cocok untuk cetakan karena tahan temperatur tinggi tanpa terjadi penguraian, harganya murah, tahan lama dan butirnya mempunyai bermacam tingkat ukuran besar dan bentuk. Pasir *silica* murni tidak dapat dimanfaatkan untuk membuat cetakan karena tidak memiliki daya pengikat. Pencampuran lempung sebanyak 8 sampai 15% dapat meningkatkan daya ikatnya. Jenis lempung yang sering dimanfaatkan adalah *kaolin* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan *bentonite* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Bentonite adalah sejenis abu vulkanik yang telah lapuk. Untuk metode dengan menggunakan *green sand* (pasir + sika + air + clay) kekuatan ikatnya/*compression strength* yang harus di capai antara 100-250 Kpa. Untuk mendapatkan kekuatan tersebut, diperlukan campuran yang ideal. Pada Gambar 2.5 grafik yang menunjukkan hubungan antara *compression strength* dengan kandungan *clay* yang akan dicampur dan pada Gambar 2.6 grafik yang menunjukkan hubungan antara kandungan *clay* dan air dengan *compression strength* (Sudjana, Hadi. 2008).

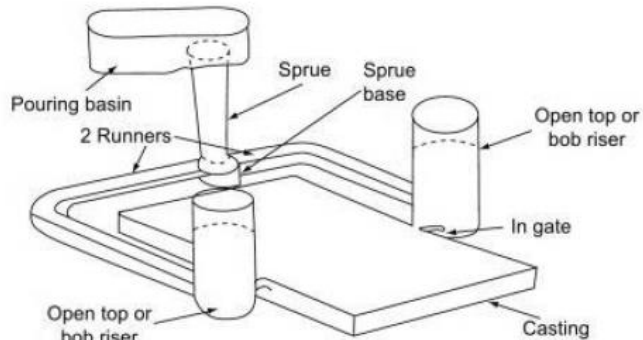


Gambar 2.5 Komposisi clay (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.6 Komposisi air (P N. Rao, 2001)

2.6 Elemen Dari Gating systems

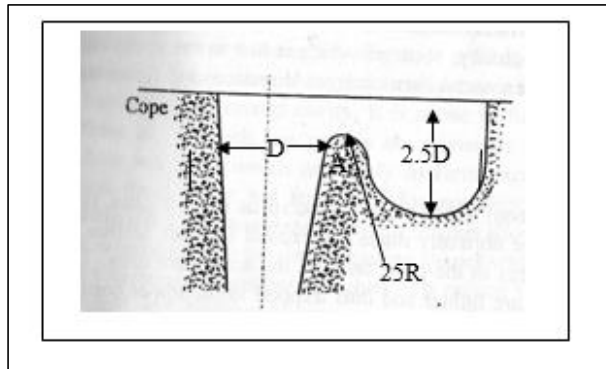


Gambar 2.7 Elemen *gating systems* (P N. Rao, 2001)

Pada Gambar 2.7 menunjukkan elemen *gating systems*. *Gating systems* merupakan seluruh elemen saling terkoneksi dengan logam cair dari *ladle* sampai ke cetakan. *Gating systems* terdiri dari:

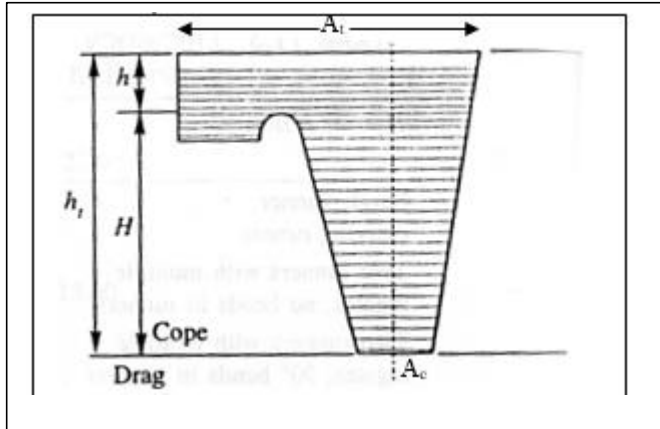
- a) *Pouring basin*
- b) *Sprue*
- c) *Sprue base well*
- d) *Runner*
- e) *Ingate*
- f) *Riser*

1. Pouring basin



Gambar 2.8 Pouring basin (P N. Rao, 2001)

Pada Gambar 2.8 menunjukkan desain *pouring basin* dimana D (diameter) dan R (radius). Logam cair tidak secara langsung dituangkan kedalam cetakan karena dapat menyebabkan erosi Logam cair. Logam cair dituangkan ke dalam *pouring basin* atau cawang tuang yang berfungsi sebagai wadah awal dan kemudian logam cair berpindah secara perlahan ke dalam *sprue*. *Pouring basin* dapat mencegah *slag* masuk kedalam rongga cetakan. Logam cair saat penuangan akan menghadapi metal momentum yang terserap dan membentuk pusaran yang dapat dihindarkan dengan membuat salah satu dinding *pouring basin* dimiringkan 45° terhadap horizontal. Dalam spesial aplikasi, *pouring basin* memiliki bagian yang dapat menjebak *slag* agar tidak masuk kedalam cetakan (P N. Rao, 2001).



Gambar 2.9 Ukuran *sprue* dan *pouring basin* (P N. Rao, 2001)

Pada Gambar 2.9 menunjukkan ukuran *sprue* dan *pouring basin*. Untuk mendapatkan luas area atas dari *pouring basin* maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_t =$$

$$A_c \sqrt{\frac{ht}{h}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$h_t = h + H \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana: H= Tinggi sebenarnya *sprue* (mm)
 A_t = Luas area *top* (mm²)
 A_c = Luas area *choke* (mm²)
 h= Tinggi *top* (mm)
 ht= tinggi seluruhnya (mm)

$$A_c = \frac{w}{d \ t \ c \sqrt{2 \ g \ h}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana: w= Massa coran (Kg)
 d= Massa jenis logam cair (Kg/mm³)
 g= Gravitasi (mm/s²)
 H= Tinggi *sprue* (mm)



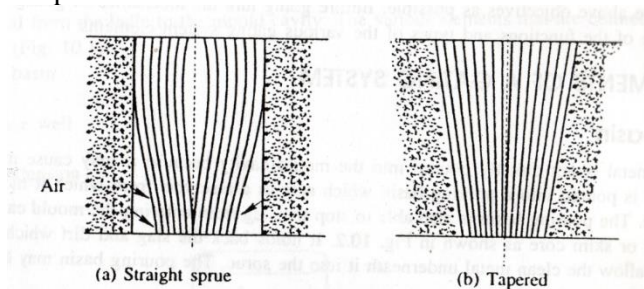
t = Waktu *pouring* (s)
 C = Efisiensi faktor (0,88)

Untuk pengecoran tembaga dan paduannya, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = K\sqrt[3]{w} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana: K = kostanta dengan *top gating*=1,3 ; *bottom gating*=1,8 ; *brass*=1,9 ; *Tin bronze*= 2,8 (P N. Rao, 2001).

2. Sprue



Gambar 2.10 Tipe sprue (P N. Rao, 2001)

Sprue merupakan bagian yang meneruskan logam cair ke bagian lain atau teMPat masuknya logam cair ke *runner* dan *gate* yang akhirnya logam cair akan masuk ke dalam rongga cetakan. Ketika logam cair mengalir dari atas *cope* ke *parting plane*, kecepatan aliran akan meningkat dan sebagai konsekuensinya membutuhkan area yang kecil untuk dilalui logam cair. Pada Gambar 2.10 menunjukkan tipe *sprue*. *Sprue* terdiri dari dua tipe yaitu *straight sprue* dan *tapered sprue*. Jika menggunakan *straight sprue*, tidak semua logam cair akan dialiri ke bawah sehingga menimbulkan ruang kosong yang dapat di isi oleh udara yang dapat terbawa ke rongga cetakan. Untuk mengatasi persoalan tersebut,

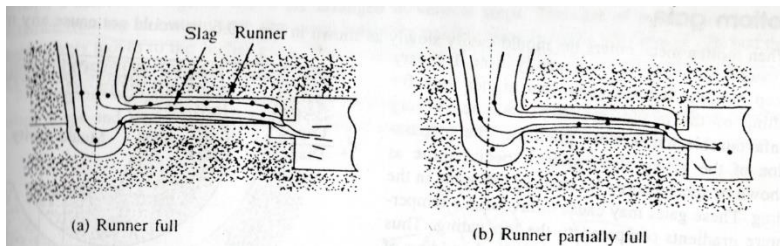


digunakan tipe *tapered sprue* untuk menghindari udara yang terperangkap (P N. Rao, 2001).

3. Sprue Base Well

Sprue base well merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat penyiMPanan awal logam cair ketika mengalir dari atas turun ke bawah. Fungsi dari *sprue base well* ialah mengurangi efek dari momentum logam cair. Logam cair yang mengalir dari *sprue* meningkatkan kecepatannya yang dapat menyebabkan erosi cetakan. Dengan menggunakan *sprue base well*, erosi cetakan dapat berkurang dan arah aliran logam cair dapat berubah yang kemudian mengalir ke *runner* dan *gate* dengan aliran yang seragam.

4. Runner



Gambar 2.11 Tipe *runner* (a) *Runner full*; (b) *Runner partially full* (P N. Rao, 2001)

Secara umum terletak horizontal dengan *parting plane* yang mana terhubung dengan *sprue* dan *ingate*. Dalam prakteknya, *runner* berada didalam *cope* dan *ingate* berada didalam *drag*. Alasan dilakukan pemisahan antara *gate* dan *runner* ialah agar menjadi perangkap *slag* agar tidak masuk kedalam rongga cetakan. Untuk perangkap *slag* yang efektif, *runner* harus mengikuti seperti di Gambar 2.11. Ketika sejumlah logam cair datang dari *sprue* lebih dari jumlah yang mengalir *ingate*, *runner* akan penuh dan akhirnya perangkap *slag* akan terjadi. Namun ketika logam cair mengalir melalui *ingate* lebih dari aliran *runner* maka *runner* akan



terisi setengahnya dan *slag* kemudian akan masuk kedalam rongga cetakan. Untuk mendapatkan luas *runner*, maka diperlukan ratio perbandingan antara *sprue*, *runner* dan *ingate* yang dapat dilihat pada Tabel 2.10 (P N. Rao, 2001).

Tabel 2.10 Ratio gating system (P N. Rao, 2001)

Material	Sprue : Runner : Ingate		
	Sprue	Runner	Ingate
Aluminium	1	2	1
	1	1.2	2
	1	2	4
	1	3	3
	1	4	4
	1	6	6
Aluminium bronze	1	2.88	4.8
Brass	1	1	1
	1	1	3
	1.6	1.3	1
Copper	2	8	1
	3	9	1
Ductile Iron	1.15	1.1	1
	1.25	1.13	1
	1.33	2.67	1
Grey cast iron	1	1.3	1.1
	1	4	4
	1.4	1.2	1
	2	1.5	1
	2	1.8	1
	2	3	1
	4	3	1
Magnesium	1	2	2
	1	4	4
Melleable iron	1	2	9.5



Material	Sprue : Runner : Ingate		
	Sprue	Runner	Ingate
Steels	1.5	1	2.5
	1	1	7
	1	2	1
	1	2	1.5
	1	2	2
	1	3	3
	1.6	1.3	1

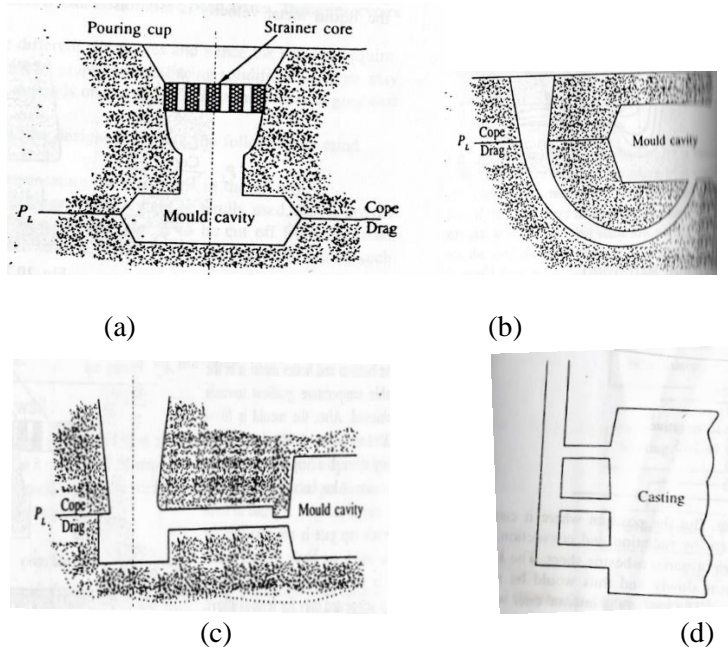
Untuk mendapatkan luas *runner* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_{\text{runner}} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total runner}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana: A_c = Luas *choke* (mm²)



5. Gate



Gambar 2.12 Tipe ingate (a) *Top gate*; (b) *Bottom gate*; (c) *Parting gate*; (d) *Step gate* (P N. Rao, 2001)

Gate atau biasa disebut juga *ingate* merupakan tempat masuknya aliran logam cair ke rongga cetakan. Bentuk dari *ingate* harus dapat dipisahkan dari benda hasil corannya setelah solidifikasi dan juga bentuk *ingate* dapat membuat logam cair masuk dengan cepat ke rongga cetakan.

Menurut aplikasinya, *ingate* terdiri dari berbagai macam jenis yaitu:

- Top gate* yaitu tipe *gate* dimana logam cair masuk ke dalam rongga cetak dari atas. Karena logam cair masuk dari atas, hal tersebut dapat membuat erosi cetakan.
- Bottom gate* yaitu tipe *gate* dimana logam cair masuk ke rongga cetakan dengan perlahan dan tidak menyebabkan erosi cetakan.

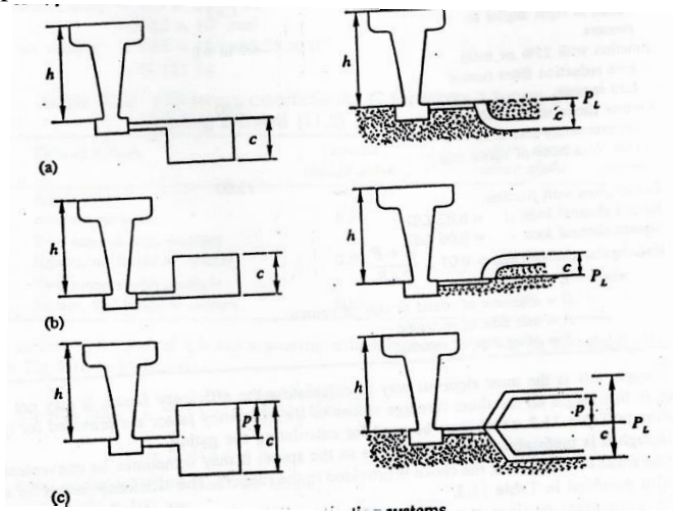


Secara umum *bottom gate* digunakan untuk cetakan agak lebih kedalam. *Bottom gate* juga membutuhkan *sprue* khusus dan juga membutuhkan *riser* yang besar karena aliran logam cair dari *gate* ke rongga cetakan sangat lambat.

c. *Parting gate* yaitu jenis *gate* secara luas digunakan, logam cair masuk di dalam *gate* yang terbagi dua (*parting line*) antara *drag* dan *cope*. Dari semua jenis *gate*, *parting gate* yang lebih murah.

d. *Step gate* yaitu jenis *gate* yang digunakan untuk pengecoran dalam jumlah besar dan berat. *Step gate* terdiri dari beberapa yang tersusun secara vertikal. *Gate* tipe ini memastikan bahwa erosi cetakan tidak terjadi (P N. Rao, 2001).

Sedangkan menurut letak masuk logam cair, jenis *ingate* terdiri dari *top gate*, *bottom gate* dan *parting*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Jenis *ingate*, (a) *Top gate*, (b) *Bottom gate*, (c) *Parting gate* (P N. Rao, 2001)

Untuk mendapatkan tingg efektif *sprue*(H), digunakan persamaan:



Top gate: $H=h$
Bottom gate: $H=h-c/2$
Parting gate: $H=h-p^2/2c$

Dimana: H = Tinggi efektif *sprue* (mm)
 h = Tinggi *sprue* (mm)
 p = Tinggi cetakan di *cope* (mm)
 c = Total tinggi cetakan (mm)

Untuk mendapatkan luas area digunakan persamaan:

$$A_{\text{ingate}} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total gate}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana: A_c =Luas *choke* (mm²)

6. Riser

Kebanyakan paduan mengalami penyusutan selama solidifikasi. Akibat dari penyusutan tersebut menyebabkan kekosongan pada benda coran. Oleh karena itu, diperlukan cadangan logam cair yang tetap panas selama solidifikasi berlangsung dan diharapkan mengisi kekosongan yang disebabkan proses penyusutan benda coran. Cadangan logam cair tersebut disebut *riser*.

Beberapa material memiliki penyusutan volum masing-masing dan kebutuhan *riser* yang berbeda. Ini ditunjukkan pada Tabel 2.11. Untuk membuat *riser* yang efektif, *riser* harus di desain sebagai berikut:

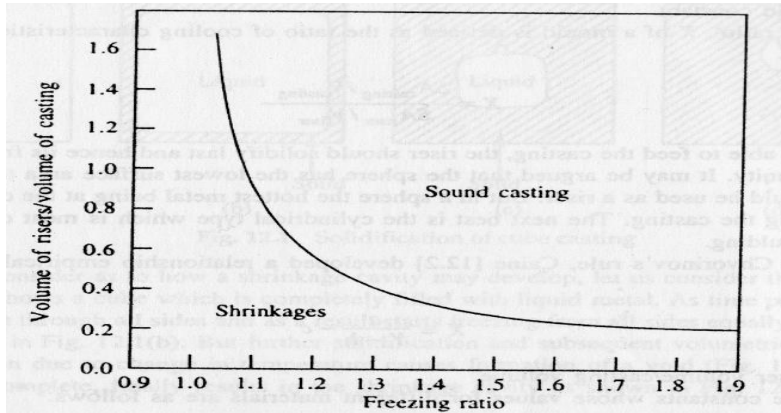
- Logam cair di *riser* harus mengalami solidifikasi terakhir
- Volum *riser* harus cukup mengisi penyusutan pada benda coran (P N. Rao, 2001)



Tabel 2.11 Volum penyusutan liquid (P N. Rao, 2001)

Material	Shrinkage (%)
<i>Medium carbon steel</i>	2,5-3,5
<i>High carbon steel</i>	4
<i>Nickel</i>	6,1
<i>Monel</i>	6,3
<i>Aluminium</i>	6,6
<i>Aluminium (11-13% Si)</i>	3,5
<i>Aluminum bronze</i>	4,1
<i>Copper</i>	4,92
<i>70-30 brass</i>	4,5
<i>Bearing bronze</i>	7,3
<i>Grey cast iron</i>	1,9 to negative
<i>White cast iron</i>	4-5,75
<i>Magnesium</i>	4,2
<i>Zinc</i>	6,5

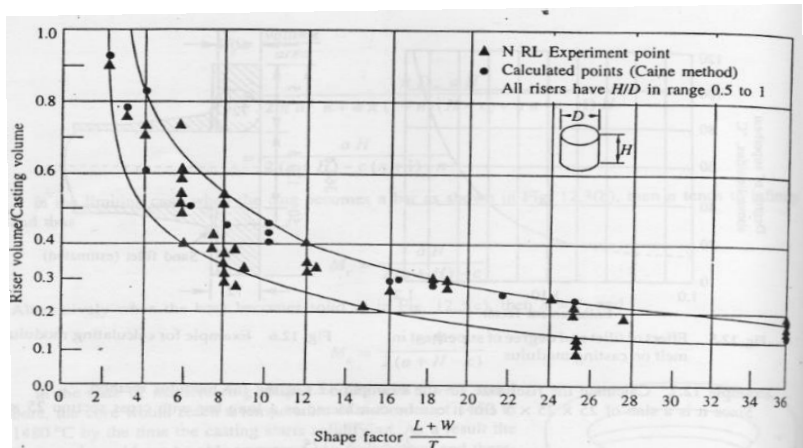
Untuk mendapatkan volum *riser* yang ideal dengan kebutuhan benda coran, diperlukan perhitungan volum *riser* dan jenis *riser* yang tepat digunakan. Ada dua metode dalam perhitungan volume *riser* yaitu dengan metode *caine's* dan metode *Naval Research Laboratory* (P N. Rao, 2001).



Gambar 2.14 Grafik metode caine's (P N. Rao, 2001)

Pada Gambar 2.14 menunjukkan grafik hubungan *freezing ratio* dengan volume *riser/volume casting*. Metode *caine's* menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volum *riser*. Untuk mendapatkan nilai *freezing ratio*, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Freezing ratio} = \frac{\text{Surface area casting no contact/volum casting}}{\text{Surface area riser no contact/volum riser}} \quad (2.7)$$

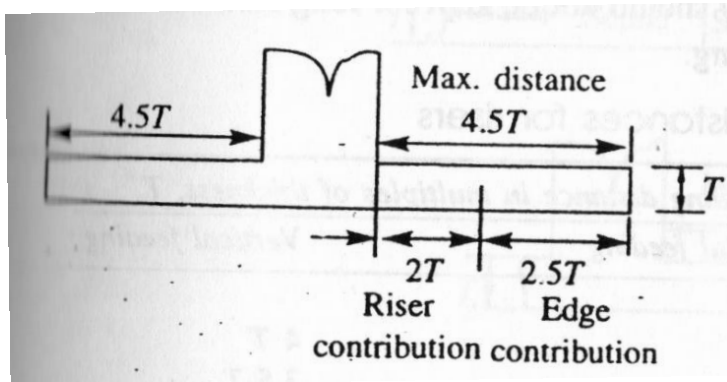


Gambar 2.15 Grafik metode *Naval Research Laboratory* (P N. Rao, 2001)

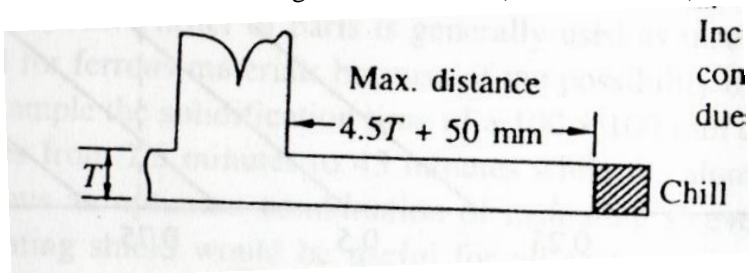
Pada Gambar 2.15 menunjukkan grafik hubungan *shape factor* dengan volume *riser*/volume *casting*. Metode *naval research laboratory* menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volum *riser*. Ketika volum *riser* yang didapatkan dari hasil perhitungan, diharapkan logam cair/logam cair cadangan di dalam *riser* dapat mengisi benda coran. Ketika jarak *riser* dengan benda coran terlalu jauh, dimungkinkan bagian yang terjauh dari *riser* tidak dapat terisi oleh logam cair cadangan dari *riser*. Oleh karena itu, *riser* memiliki batas jangkaun untuk dapat mengisi atau dapat mengalir logam cair. Untuk satu *riser*, batas jangkaun *riser* maksimal untuk mampu mengisi/ mengalir logam cair yaitu $4.5T$ dimana T ialah *thickness*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.16 dimana menggunakan satu *riser*. Apabila pada *mold*/cetakan benda cor ditambahh *chill*, maka kemampuan mengalir/ mengisi dari *riser* bertambah yaitu $4.5T + 50$ mm dimana *chill* ialah material paduan yang memiliki komposisi serupa dengan *molten metal* yang berfungsi meningkatkan *heat transfer* sehingga mempercepat



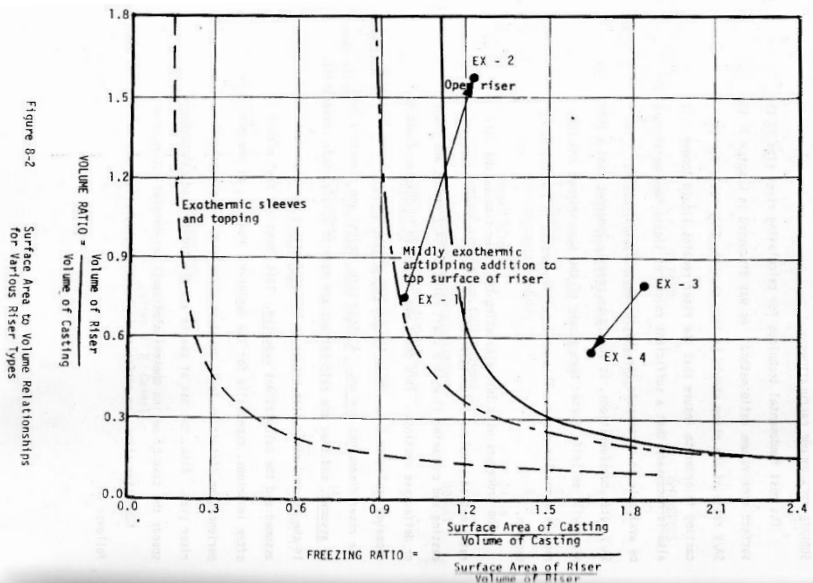
pendinginan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.17 penggunaan riser dan *chill* secara bersama (P N. Rao, 2001).



Gambar 2.16 Jangkauan satu riser (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.17 Jangkaun riser yang ditambahkan chill (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.18 Grafik penentuan jenis riser (P N. Rao, 2001)

Setelah menentukan jarak *riser*, dilakukan perhitungan selanjutnya untuk mendapatkan jenis *riser* yang tepat untuk digunakan. Ada 3 jenis *riser* yaitu *open riser*, *riser* dengan *toping*, dan *riser* dengan *toping* dan selimut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.18.

2.7 Shrinkage Allowance

Semua logam ketika proses pendinginan akan mengalami penyusutan atau *shrink*. Ini dikarenakan adanya getaran *inter-atomic* sehingga atom-atom tersebut membesar dengan naiknya temperatur. Ada dua jenis penyusutan yaitu *liquid shrinkage* dan *solid shrinkage*. *Liquid shrinkage* ialah penyusutan volum logam yang terjadi akibat perubahan liquid menjadi solid. Sedangkan



solid *shrinkage* yaitu penyusutan volum logam pada kondisi solid temperatur tinggi menjadi solid temperatur rendah.

Untuk mendapatkan hasil coran yang baik, tidak bisa logam cair dituangkan ke rongga cetakan sesuai bentuk dan dimensi komponen. Oleh karena itu diperlukan kelonggaran (*allowance*) saat pembuatan pattern. Tiap material coran memiliki kelonggaran (*allowance*) yang berbeda, hal itu dapat dilihat pada Tabel 2.12 (P N. Rao, 2001).

Tabel 2.12 *Shrinkage allowance* untuk beberapa logam (P N. Rao, 2001)

Material	Pattern dimension mm	Section thickness mm	Shrinkage allowance mm/m
Grey cast iron	Up to 600	-	10,5
	600-1200	-	8,5
	Over 1200	-	7
White cast iron	-	-	16-23
Ductile iron	-	-	8,3-10,4
Malleable iron	-	6	11,8
	-	9	10,5
	-	12	9,2
	-	15	7,9
	-	18	6,6
	-	22	4
	-	25	2,6
Plain carbon steel	Up to 600	-	21
	600-1800	-	16
	Over 1800	-	13
Chromium steel	-	-	20
Manganese steel	-	-	25-38
Aluminum	-	-	13



Material	<i>Pattern dimension mm</i>	<i>Section thickness mm</i>	<i>Shrinkage allowance mm/m</i>
Aluminium <i>bronze</i>	-	-	20-23
<i>Copper</i>	-	-	16
<i>Brass</i>	-	-	15,5
<i>Bronze</i>	-	-	15,5-22
<i>Gunmetal</i>	-	-	10 -16
<i>Manganese bronze</i>	-	-	15,6
<i>Silicon bronze</i>	-	-	10,4
<i>Tin bronze</i>	-	-	10,4
<i>Chromium copper</i>	-	-	20,8
<i>Lead</i>	-	-	26
<i>Monel</i>	-	-	20
<i>Magnesium</i>	-	-	13
<i>Magnesium alloy</i>	-	-	16
<i>White metal</i>	-	-	6
<i>Zinc</i>	-	-	10-15

Sebagai contoh misalnya suatu material cor berupa *steel* memiliki dimensi *pattern*/pola panjang x lebar x tinggi yaitu 200 mm x 150 mm x 100 mm. Maka dengan menggunakan Tabel 2.8 didapatkan nilai *shrinkage allowance* sebesar 21mm/m dan perhitungannya sebagai berikut:

$$P = 200 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 4,2 \text{ mm}$$

$$L = 150 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 3,2$$

$$T = 100 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 2,1$$



Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bendanya yaitu $150+4,2$ mm, lebar $150+3,2$ mm dan tinggi $100+2,1$ mm (P N. Rao, 2001).

2.8 Draft Allowance

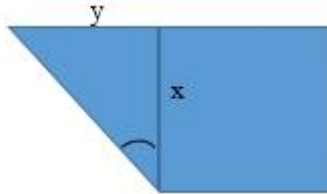
Ketika pola (*pattern*) diletakan di pasir, akan terjadi kontak antara permukaan pola dan pasir. Ketika pola di ambil atau dilepaskan dari pasir, gesekan antar permukaan pola dan pasir menyebabkan pasir dapat runtuh atau terkikis. Oleh karena itu, diperlukan *pattern* yang memiliki sudut agar memudahkan untuk mengambil *pattern* dari pasir. Tiap material *pattern* memiliki *draft allowance* yang berbeda dan juga tiap ketinggian *pattern* memiliki nilai *draft* yang berbeda. Ini ditunjukan dengan Tabel 2.13 (P N. Rao, 2001).

Tabel 2.13 Nilai *draft pattern* (P N. Rao, 2001)

Pattern material	Height of the given Surface (mm)	Draft angle of surface (degrees)	
		External surface	Internal surface
Wood	20	3	3
	21-50	1,5	2,5
	51-100	1	1,5
	101-300	0,75	1
	201-300	0,5	1
	301-800	0,5	0,75
	801-2000	0,35	0,5
	Over 2000	-	0,25
Metal and plastic	20	1,5	3
	21-50	1	2
	51-100	0,75	1
	101-300	0,5	0,75
	201-300	0,5	0,75
	301-800	0,35	0,5



Sebagai contoh misalnya *pattern* yang digunakan berupa *wood* dengan panjang 50mm dan tinggi 100 mm dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.9 di dapatkan *draft angle*-nya eksternalnya sebesar 1° dan tidak memiliki *draft angle* internal karena tidak memiliki rongga. Untuk perhitungannya sebagai berikut:



$$\tan 1^\circ = y/x$$

$$\tan 1^\circ = y/100 \text{ mm} \quad ; y = 1,74 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bagian atas dengan penambahan *draft* yaitu sebesar 50 mm + 1,74 mm (P N. Rao, 2001).

2.9 Machining Allowance

Pada proses pengecoran dengan *sand casting* didapatkan hasil akhir yang umumnya jelek (permukaan masih kasar) dan dimensi coran belum akurat. Untuk mendapatkan hasil yang bagus dan dimensi yang akurat dilakukan proses *machining*. Oleh karena itu, dengan proses *machining* maka akan ada bagian yang akan dihilangkan agar mendapatkan coran yang baik. *Machining allowance* tergantung dengan logam coran, tipe cetakan yang digunakan, dan kompleksitas permukaan benda corannya. Hal ini dilihat pada Tabel 2.14 (P N. Rao, 2001).



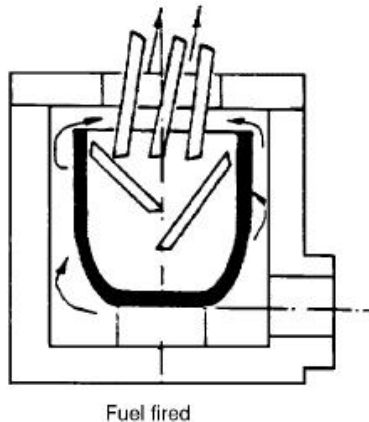
Tabel 2.14 *Machining allowance* (P N. Rao, 2001)

Dimension (mm)		Allowance (mm)		
		Bore	Surface	Cope side
<i>Cast iron</i>	<i>Up to</i> 300	3	3	5,5
	301-500	5	4	6
	501-900	6	5	6
<i>Cast steel</i>	<i>Up to</i> 150	3	3	6
	151-500	6	5,5	7
	501-900	7	6	9
<i>Non ferrous</i>	<i>Up to</i> 200	2	1,5	2
	201-300	2,5	1,5	3
	301-900	3	2,5	3

Sebagai contoh misalnya benda cor berupa *steel* dengan panjang, lebar dan tinggi yaitu 150 mm x 100 mm x 25 dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.10 di dapatkan *machining allowance* untuk *surface* sebesar 3 mm. Selanjutnya di tambahkan tiap-tiap dimensi benda cor tersebut (P N. Rao, 2001).

2.10 Crucible Furnace

Secara umum untuk pengecoran skala kecil menggunakan *crucible furnace*. *Crucible* secara umum dipanaskan dengan *electric resistance* atau gas *flame*. Logam atau bahan baku yang mau dilebur dilekan di dalam *crucible furnace* dengan dinding *furnace* yang dilapisi *refractory* tahan terhadap panas. Logam akan cair di dalam *crucible* akibat panas dari gas *flame* yang di masukan didalam *crucible furnace*. Tipe *furnace* lebih fleksibel untuk beberapa paduan. Kualitas hasil peleburan dan temperatur *melting* dapat di kontrol (P N. Rao, 2001).



Gambar 2.19 *Crucible* (R. Brown John, 1999)

Pada Gambar 2.19 menunjukkan *crucible* dengan input panas berupa gas. *Crucible* dapat terbuat dari *clay graphite* atau *silicon carbide*. *Crucible* dengan *clay graphite* terdiri dari spesial *graphite* dengan *clay* sebagai agen pengikat. Pengikat *clay* berbentuk ikatan sebuah keramik, beberapa *silicon carbide* ditambahkan yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan *thermal shock*. *Graphite* memberikan konduktivitas *thermal* dan elektrik serta ketahanan saat peleburan. Sedangkan *crucible* dengan *silicon carbide* terdiri dari SiC dan *graphite* spesial serta pengikatnya berupa pengikat *carbon* menggunakan aspal atau *resin*. Baik *crucible* dengan *clay graphite* atau *silicon carbide* sama-sama menggunakan *coating/lapisan glaze* yang bertujuan untuk mencegah *oxidase graphite* selama proses peleburan. Di sisi lain, *silicon carbide* lebih mahal dibandingkan *clay graphite* dikarenakan umur pakai yang lebih lama (R. Brown John, 1999).

2.11 Corrosion rate

Korosi secara umum yaitu serangannya seragam di seluruh permukaan. Korosi umum baja tahan karat biasanya diamati di



lingkungan asam peroksida yang sangat korosif, sering dikaitkan dengan industri kimia dan pertambangan. Tingkat korosi dapat diukur, dapat diprediksi dan dapat dirancang faktor keselamatan yang dibutuhkan.

Tingkat korosi secara umum diukur dan dilaporkan dalam unit yang berbeda:

- arus korosi dalam milliamp per sentimeter persegi (mA / cm^2)
- penetrasi ketebalan milimeter per tahun (mm / tahun)
- hilangnya ketebalan milliinches (mils) per tahun (mpy)
- kehilangan massa dalam gram per meter persegi per hari ($\text{g} / \text{m}^2.\text{hari}$)

Tingkat keparahan serangan suatu material diindikasikan dengan cara yang berbeda. Tingkat korosi secara umum sering ditentukan dalam kondisi laboratorium dengan menggunakan larutan kimia murni. Indikator yang paling umum dan yang digunakan dalam sejumlah "manual korosi" adalah pita korosi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.15 di bawah ini:

Tabel 2.15 Tingkatan *corrosion rate* (Southern Africa stainless steel development association)

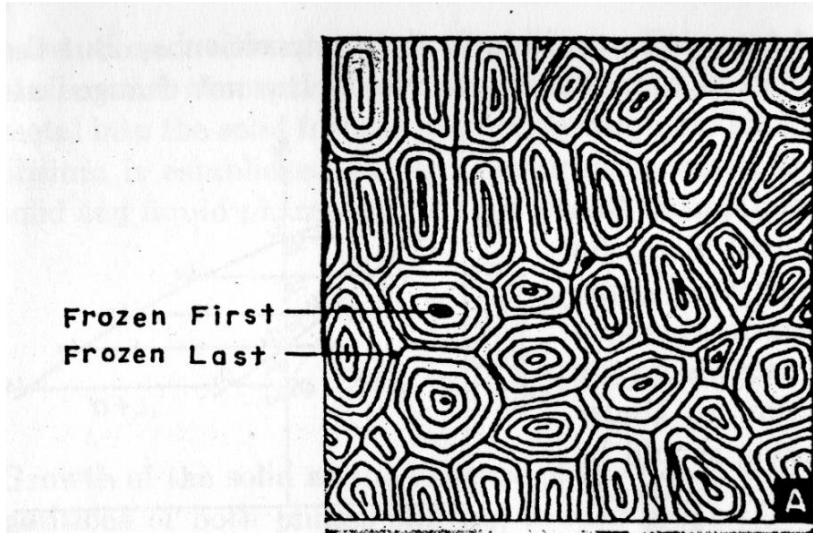
	mA/cm^2	Mm/year	Mpy	$\text{g}/\text{m}^2.\text{day}$
mA/cm^2	1	11,6	456	249
mm/year	0,063	1	39,4	21,6
Mpy	0,00219	0,0254	1	0,547
$\text{g}/\text{m}^2.\text{day}$	0,00401	0,0463	1,83	1
Corrosion Rate		Corrosion Rate		
Band 0 <0,1 mm/yr (<5 mpy)		<i>Highly resistant</i>		
Band 1 0,1-1,0 mm/yr (5-50 mpy)		<i>-Transition from highly resistant to severe corrosion</i> <i>- Metastable</i> <i>- Consider use with care</i>		
Band 2 >1,0 mm/yr (>50 mpy)		<i>- Severe corrosion</i> <i>- Not suitable</i>		



Pada material AISI 430 memiliki corrosion rate sebesar 0,9 mpy yang mana menunjukkan material tersebut masuk kategori band 0 yaitu memiliki daya tahan korosi yang tinggi, dapat dilihat pada Tabel 2.12. Untuk material paduan tembaga memiliki corrosion rate 0,3-1,5 mpy yang mana menunjukkan material tersebut masuk kategori band 0 yaitu memiliki daya tahan korosi yang tinggi. (Reinhart Fred M, 1972)

2.12 Solidifikasi Binary Isomorphus

Proses solidifikasi paduan dimulai dengan munculnya partikel solid kecil (*nuclei*), pembatasan undercooling, terdapat lebih banyak komponen logam dengan logam yang memiliki melting tinggi dibandingkan pembentukan solid yang berikutnya. Pada saat lapisan yang berturut-turut kristalnya mengintinya dari suatu fasa solid yang mengendap/tersisip, masing-masing inti lapisan yang komponen logam yang memiliki melting rendah lebih sedikit dibandingkan sebelumnya atau komponen logam dengan melting tinggi. Solid akhir tersusun dari inti bagian yang mempunyai melting tinggi dan masing-masing inti tersebut membentuk unit dan masing-masing unit dikelilingi oleh material yang memiliki melting yang lebih rendah. (Frederick, 1956)



Gambar 2.20 Ilustrasi pendinginan hasil coran 70%Ni + 30% Cu
(Frederick, 1956)

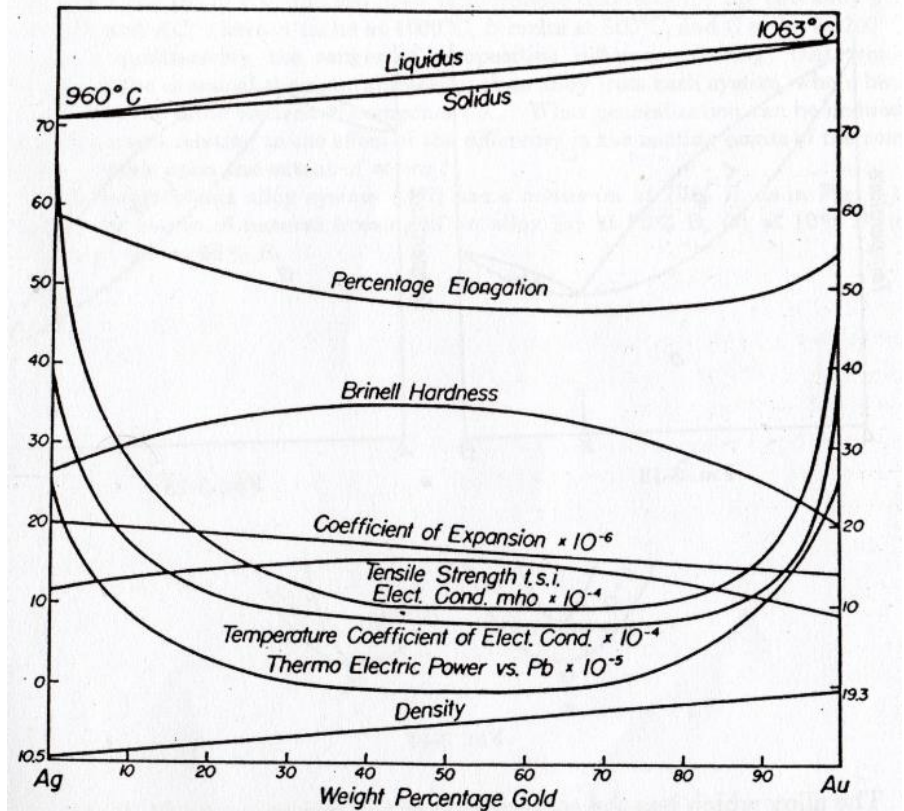
Gambar 2.20 menunjukkan ilustrasi pembekuan. Mayoritas pembekuan logam oleh formasi ini disebut dendrit atau disebut *treelike growths* yang bercabang tebal sebagai proses pembekuan saMPai semua kekosongan terisi oleh solid dan berlanjut saMPai berkembangnya Kristal. Oleh sebab itu, struktur inti kebanyakan logam yang memiliki geometri dendrit. Kondisi ini terkadang merunjuk pada *densritic segregation*.

Dengan menggunakan mikroskop, terlihat bagian percabangan dendrit yang muncul. Bagian yang terang pada struktur ialah logam yang memiliki melting yang tinggi atau awal pengintian sedangkan bagian yang gelap ialah logam yang memiliki melting yang lebih rendah atau akhir membeku. (Frederick, 1956)



2.13 Sifat Physical dari paduan isomorphus

Sifat physical dari paduan dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu *structure sensitive* dan *structure insensitive*. Sifat *structure insensitive* berupa densitas yang dapat berubah dengan variable eksternal, temperatur, tekanan, dan komposisi. Perubahannya secara ideal ialah secara linear.



Gambar 2.21 Pengaruh komposisi paduan terhadap properties paduan Ag-Au (Frederick, 1956)

Gambar 2.21 menunjukan pengaruh variable komposisi untuk beberapa *properties*. Selanjutnya sifat *structure sensitive*



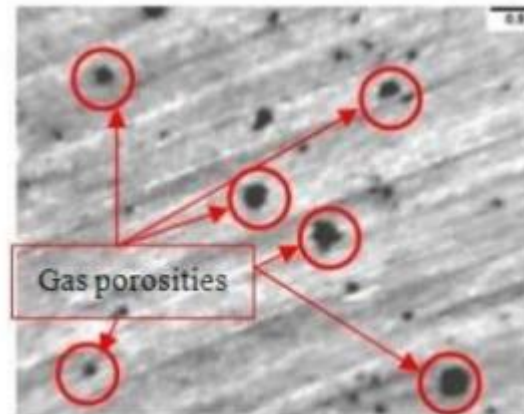
seperti kekerasan, kekuatan tarik, konduktifitas elektrikal, ukuran butir, derajat coring, dan kondisi struktural lainnya. Jika kondisinya konstan (tidak ada faktor eksternal) dan komposisi divariasikan maka ditemukan perubahan sifat secara tidak linear atau dapat dikatakan berubah secara kuadratik yang melalui titik maksimum dan minimum. Perubahan sifat sangat cepat dengan penambahan elemen paduan ke komponen logam lain dan berlanjut sampai titik maksimum dan selanjutnya mengalami penurunan. Meskipun nilai absolut dari beberapa sifat berbeda dari satu sistem ke sistem lainnya, bentuk kurva secara umum sama untuk semua sistem elemen paduan binary isomorphus. (Frederick, 1956)

2.14 Porositas

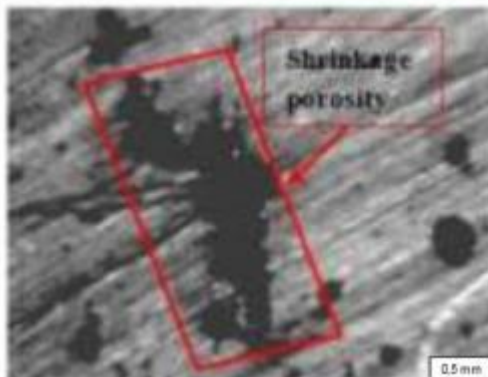
Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan ke dalam cetakan. Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam paduan akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebab porositas antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari dalam logam karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan, perbedaan suhu yang sangat tinggi antara cetakan dengan logam cair yang dituang. Proses pembekuan diawali pada bagian logam cair yang lebih dahulu mengenai dinding cetakan. Disebabkan oleh suhu dinding cetakan yang sangat rendah dibandingkan dengan suhu logam cair. Pembekuan yang cepat dan proses pendinginan yang tidak merata mengakibatkan sejumlah gas terperangkap, sehingga terbentuk pori. Cacat ini dapat dihindari dengan penuangan logam yang cukup temperature, mengontrol jumlah gas yang dihasilkan oleh material (pengurangan unsur Si dan P akan sangat membantu). (Wibowo, 2012)

Cacat pengecoran logam yang terjadi karena gas terlarut dalam logam cair dan terjebak pada proses solidifikasi disebut porositas gas, dan cacat pengecoran dapat terjadi karena penyusutan disebut porositas penyusutan (shrinkage)

a). Cacat porositas gas disebabkan karena adanya pembentukan gas ketika logam cair dituangkan. Cacat porositas gas berbentuk bulat akibat tekanan gas ini pada proses pembekuan. Ukuran cacat porositas gas sebesar ± 2 mm saMPai 3 mm, lebih kecil bila dibandingkan dengan cacat porositas shrinkage. Bentuk cacat gas seperti yang terlihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Cacat Porositas Gas (Wibowo, 2012)



Gambar 2.23 Cacat Porositas Shrinkage (Wibowo, 2012)

b). Cacat porositas shrinkage mempunyai bentuk yang tidak bulat (irregular). Ukurannya lebih besar jika dibandingkan dengan cacat porositas gas. Penyebab adanya cacat porositas shrinkage adalah adanya gas hidrogen yang terserap dalam logam cair selama proses penuangan, gas yang terbawa dalam logam cair selama proses peleburan, dan pencairan yang terlalu lama. Bentuk cacat porositas shrinkage seperti yang terlihat pada Gambar 2.23 (Wibowo, 2012)

2.15 Lapisan Pasif Nikel

Dalam banyak larutan encer, nikel mempunyai untuk menjadi pasif pada rentang nilai PH. Mekanisme pembentukan lapisan pasif nikel diawali pada penelitian dengan menggunakan anoda nikel didalam alkalin baterai dan dihubungkan dengan media alkaline. Lapisan pasif nikel terjadi karena adanya formasi proteksi oxide atau hydrated oxide dalam beberapa nanometer dari adanya lapisan oxide film dan terjadi karena adanya *chemisorbed* dari lapisan oxide atau O_2 .

Ellipsometric merupakan teknik untuk mengukur ketebalan lapisan pasif baik di larutan alkaline dan larutan asam. Di dalam larutan alkaline, galvanostatic mengukur dan



menyebutkan bahwa lapisan pasif nikel terjadi karena formasi dari lapisan monolayer $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Hal ini terbentuk dengan adanya proses keadan solid yang melibatkan nucleation dan pertumbuhan lapisan. Dalam beberapa kondisi alkaline, konsentrasi larutan pada temperatur tinggi menyebabkan ketebalan film terbentuk. Di dalam larutan asam, lapisan pasif berhubungan dengan meningkatnya konduktivitas electronic film oxide, dilengkapi oleh perubahan stoikiometri, dan selanjutnya oxidase. Meningkatnya konduktifitas elektronik menyebabkan berkurangnya electric field sepanjang lapisan film yang dikarenakan berkurangnya transfer ion logam ke lapisan film. Pre-pasif film dianggap menjadi $\text{Ni}(\text{OH})_2$ terbentuk oleh proses pengendapan dissolution. Lapisan pasif terjadi perubahan dari $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ke oxide tinggi non-stoikiometri NiO . XRD mempelajari hubungan dengan percobaan electrochemical dan juga mengidentifikasikan bahwa oxidase anodic dari nikel menghasilkan oxide non-stoikiometri komposisi NiO .

Lapisan pasif didapatkan dari ukuran potensial decay pada elektroda nikel dan juga ukuran polarisasi anodic yang mana oxidase (reduksi) proses yang dilalui beberapa tahapan pada potensial yang mendekati prediksi thermodinamika. Proses pasif merupakan transisi dari NiO ke Ni_3O_4

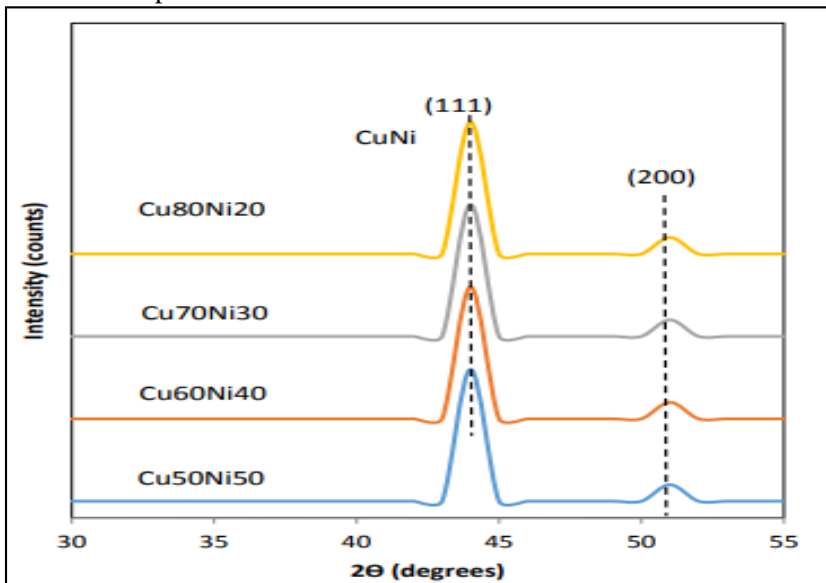
$\text{Ni} \rightarrow \text{NiO} \rightarrow \text{Ni}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Ni}_2\text{O}_3$. Penambahan unsur Cu 0-70% meningkatkan wilayah aktif dan pasif. (L.L. Shreir, 1979)

2.16 Penelitian Sebelumnya

1. Hasil Pengujian XRD Cu-Ni

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Yusop, Chow and Badri 2015) menampilkan hasil pengujian XRD pada lapisan tipis paduan Cu-Ni. Pada gambar 2.24 menyajikan pola XRD untuk sampel Cu-Ni dengan komposisi tembaga yang berbeda. Analisis XRD mengungkapkan semua sampel menunjukkan struktur kubik dari dua bidang (111) dan (200) Cu-Ni_{9-11,13}, dengan nama fasa copper. Tidak ada puncak pengotor (Ni) yang terdeteksi pada semua sampel karena hanya dua puncak yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa refleksi bergeser ke sudut yang lebih rendah

karena kandungan Cu meningkat. *Peak Ni* tidak muncul pada hasil pengujian XRD ini. Hal ini disebabkan karena unsur Ni larut sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni memiliki kesamaan dengan atom Cu yaitu *Face Centered Cubic*. Hal itu diasumsikan karena komposisi tembaga maka perubahan kisi yang diteMPati oleh Cu dan Ni menyebabkan sampel dengan kandungan tembaga lebih tinggi pada susut kecil. Konstanta kisi (a) yang diperoleh dari jarak antarplanar (d) nilai yang sesuai dengan bidang (111) adalah 0,8 Å yang lebih rendah dari konstanta kisi aktual Cu dan Ni sehingga memberikan kontribusi terhadap pembacaan yang lebih rendah pada lembaran bacaan.



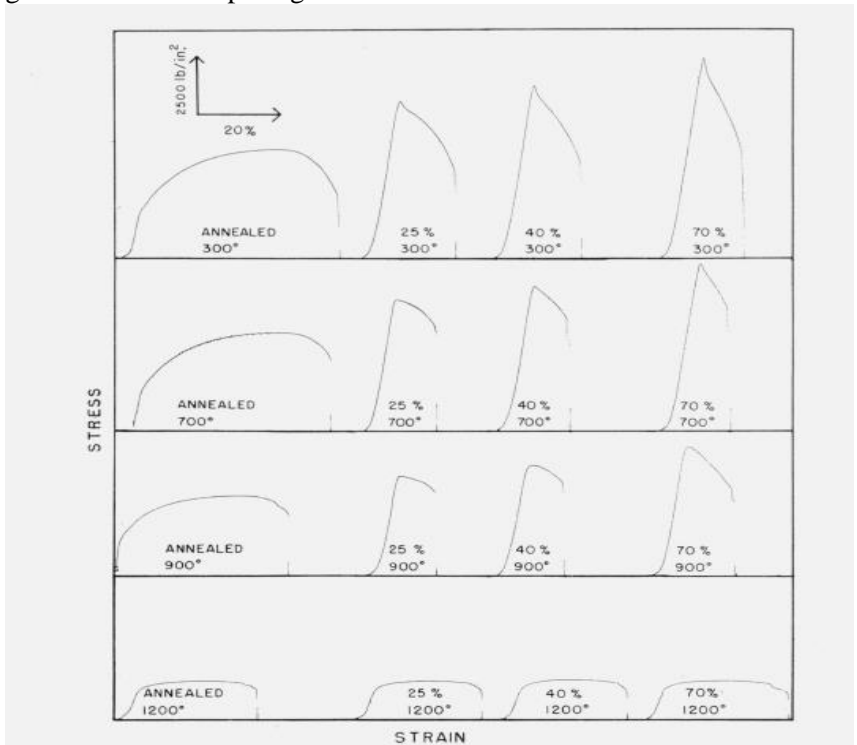
Gambar 2. 24 Hasil XRD untuk paduan CuNi beberapa komposisi (Yusop, Chow and Badri 2015)

2. Hasil Pengujian Tensile

Pada penelitian yang dilakukan oleh D. Jenkins William (1957) kurva stress-strain yang diuji pada temperatur kamar



menunjukkan bahwa terjadinya penurunan kemiringan di akibatkan oleh meningkatnya regangan (strain) pada awal patahan. Pada penelitian tersebut, masalah yang di ambil ialah pengaruh temperatur terhadap sifat tensile paduan 70%Cu-30%Ni dan 30%Cu-70%Ni, tembaga murni dan nikel murni. Tensile test dilakukan dengan memberikan perlakuan panas berupa anneal, pemanasan dalam electric furnace pada temperatur 300,700,900, dan 1200 °F lalu di holding selama satu jam sebelum dilakukan uji tarik. Tensile spesimennya dengan ukuran diameter 0,505 in dan reduced section 2 in. Lalu hasil di penelitian tersebut didapatkan grafik stress strain pada gambar 2.25



Gambar 2.25 Grafik stress-strain 70%Cu-30%Ni yang di tes pada temperature berbeda (William D. Jenkins, 1957)

Hasil penelitian tersebut menunjukkan sifat tensile bergantung pada persen yang terlarut dalam kisi(lattice), temperature uji, dan jumlah cold-working. Meningkatnya yield strength lebih besar pada kisaran kandungan nikel 0-30% dibandingkan 30-70% nikel. Paduan dengan nikel sebesar 70% sudah sangat kuat dibandingkan 30% nikel berbeda (Wiliam D. Jenkins, 1957).

3. Penelitian Uji Metalografi Cu-Ni

Pada penelitian yang dilakukan oleh S. Ilangovan (2013), paduan Cu-Ni-Sn disiapkan dengan menggunakan proses peleburan. Peleburan dilakukan di dalam *crucible furnace* dibawah atmosfer argon dan dicetak di dalam cetakan pasir. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah mengetahui efek dari perlakuan panas dan proses aging pada paduan Cu-Ni-Sn. Beberapa spesimen pun disiapkan. Setelah spesimen selesai dilebur dan dicetak pada cetakan pasir, dilakukan proses homogenisasi dan waktu *aging* 3 jam. Pengujian dengan menggunakan metode metalografi pun dilakukan. Lalu dilakukan pengamatan di bawah mikroskop optik. Di bawah ini adalah Gambar 2.26 yang menjelaskan tentang hasil pengamatan di bawah mikroskop optik.

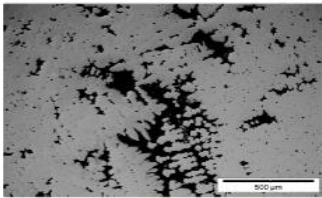


Fig. 1. Typical As-Cast Micro-structure of Cu-6Ni-8Sn Alloy.

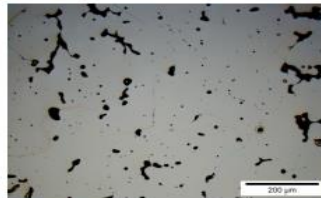


Fig.2 Typical homogenized and Solution Heat Treated Micro-structure of Cu-6Ni-8Sn Alloy.

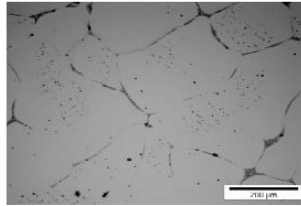


Fig. 3. Microstructure of 3 Hours Aged Cu-6Ni-8Sn Alloy Showing Grain Boundary Precipitates.

Gambar 2.26 Pengamatan pada Mikroskop Optik Paduan Cu-6Ni-8Sn (Ilangovan, 2013)

Gambar (1) merupakan struktur mikro hasil peleburan Cu-6Ni-8Sn. Gambar (2) merupakan struktur mikro yang sudah dilakukan proses homogenisasi. Seperti yang dilaporkan sebelumnya, dekomposisi *spinodal* dan reaksi struktur tersusun akan mempengaruhi struktur mikro selama proses homogenisasi. Struktur yang termodular dan tersusun tersebut tidak bisa diamati melalui mikroskop optik. Pengamatan bisa dilakukan dengan menggunakan SEM maupun TEM. Gambar (3) menunjukkan struktur mikro dari paduan Cu-6Ni-8Sn yang sudah mengalami proses *aging* selama 3 jam. Ketika spesimen sudah diberi perlakuan *aging*, *presipitat* akan muncul di sepanjang batas butir. Butir-butir yang terlihat pun lebih halus dari sebelumnya akibat dari proses ini.

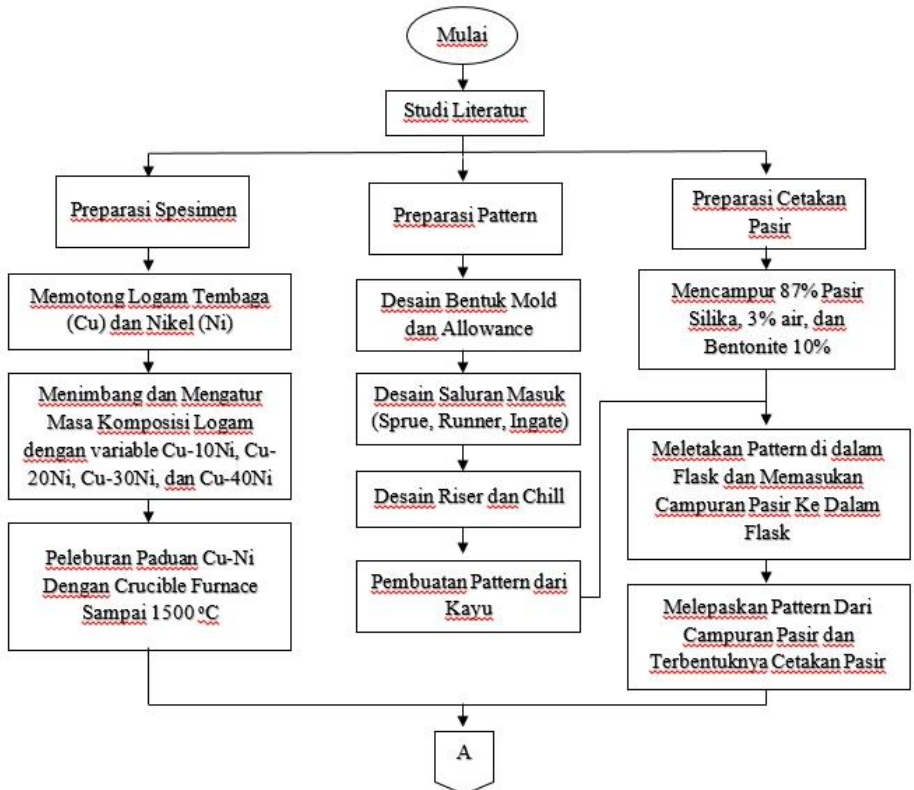


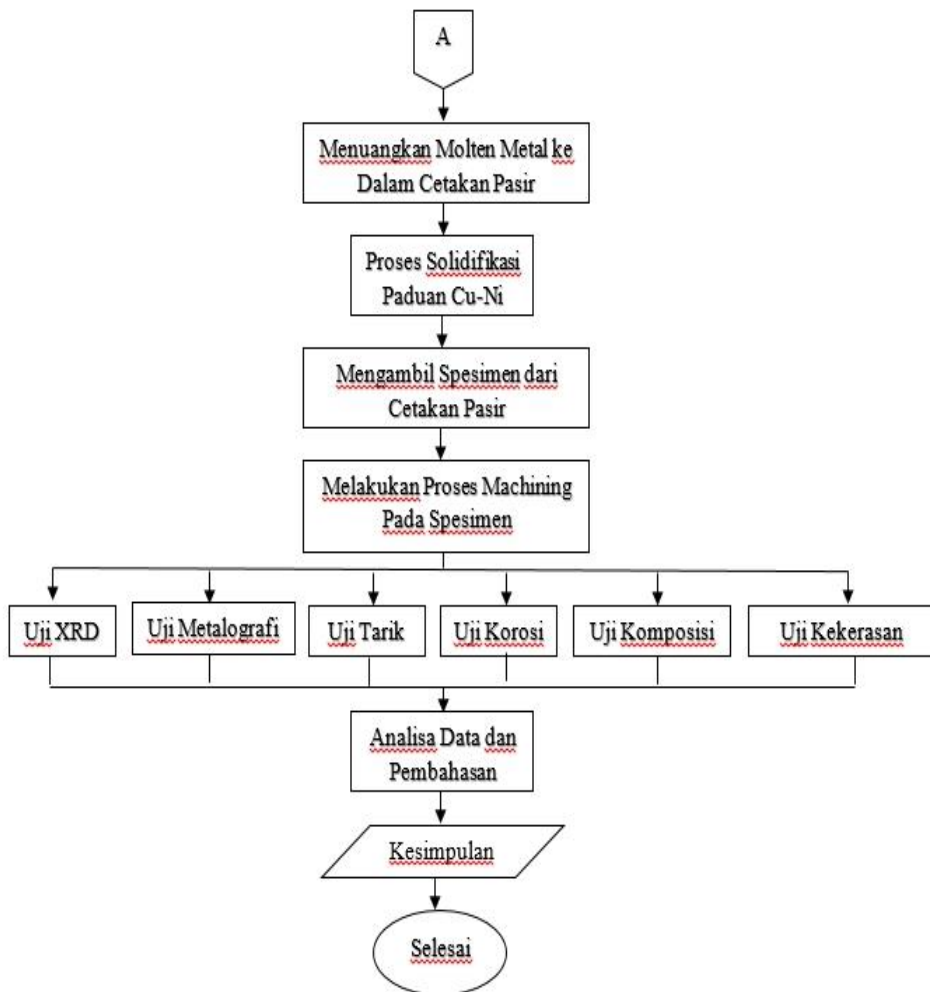
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir sebagai berikut





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tembaga *Rod* (Cu)

Tembaga yang digunakan merupakan tembaga murni kadar 99% dalam bentuk *rod* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tembaga *Rod* (Cu)

2. Nikel *sheet* (Ni)

Nikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa nikel dalam bentuk lembaran untuk aplikasi material elektronik. Kadar nikel pada material ini 98,5% sesuai dengan standar ASTM 162. Nikel ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Nikel *Sheet* (Ni)

3. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini adalah etsa kode 34 yang sesuai dengan ASTM E-407 dengan komposisi sebagai berikut:



- a. 5gr FeCl_3 ,
- b. 50 ml HCl,
- c. 100 ml aquades

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Crucible furnace*

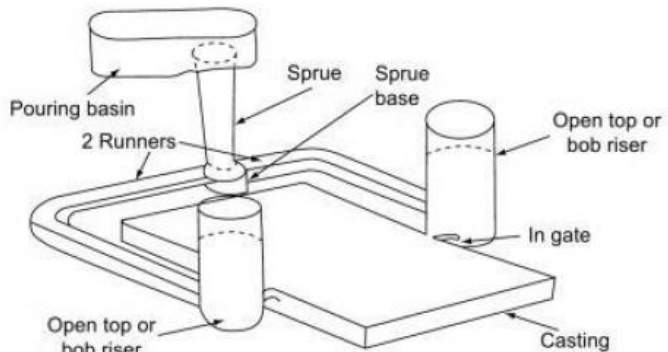
Alat untuk melebur logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah *crucible furnace* dengan bahan bakar gas LPG (propana) yang ditambahkan oleh oksigen berasal dari blower. Gas LPG dan blower disambungkan ke pipa. Pipa disambungkan ke *crucible furnace* agar menghasilkan panas.

2. Krus

Krus yang digunakan berupa krus yang terbuat dari bahan grafit. Krus digunakan sebagai wadah penutup paduan tembaga-nikel dalam proses peleburan.

3. Pola Cetakan Komponen

Pola cetakan komponen digunakan untuk membuat cetakan hasil coran pada cetakan pasir. Pola cetakan hasil coran disesuaikan dengan standar pengujian yang akan dilakukan. Contoh pola cetakan yang akan dilakukan pada pengujian tarik ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pola Cetakan Komponen

4. Kertas Amplas

Kertas amplas didapatkan dari toko bahan bangunan di Keputih. Kertas amplas digunakan untuk grinding permukaan spesimen.

5. Gergaji

Gergaji yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gergaji tangan digunakan untuk memotong bahan.

6. Pengaduk

Digunakan untuk mengaduk logam paduan cair. Dibuat dengan baja tulangan yang ujungnya disambung dengan keramik.

7. *Flask*

Flask digunakan untuk membuat cetakan pasir

8. Mesin *Grinding & Polishing*

Mesin *Grinding & Polishing* yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk mengikis permukaan spesimen agar rata dan halus.

9. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Timbangan digunakan untuk



menimbang massa bahan dari logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni) sebelum dilebur.

10. Mesin Uji XRF

Mesin XRF yang digunakan adalah milik Laboratorium Energi (LPPM - ITS). Digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dari paduan logam

11. Mesin Uji XRD

Mesin XRD yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel

13. Mikroskop Optik

Mikroskop optik yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.

15. Alat Uji Korosi

Alat uji korosi yang digunakan adalah dengan metode polarisasi tafel milik Lab. Departemen Teknik Kimia ITS. Metode ini menggunakan elektroda pembanding untuk mengetahui laju korosi

16. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik yang digunakan adalah milik Lab. Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari spesimen paduan logam.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi penambahan unsur nikel (Ni) sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 % wt Ni.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur Pengecoran

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tembaga (Cu) ditambahkan dengan unsur paduan nikel



(Ni) dengan kadar 10 %, 20 %, 30 %, 40 % wt Ni. Persiapan bahan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan allowance untuk mendapatkan volum coran dengan bentuk batangan/persegi panjang.

Panjang (p)= 310 mm

Lebar (l)= 17 mm

Tinggi (t)= 17 mm

a. *Shrinkage Allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.8 *shrinkage allowance* untuk beberapa logam, di dapatkan nilai *shrinkage allowance* untuk material *copper* sebesar 16 mm/m, maka dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$p = 310 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 4,96 \text{ mm}$

$l = 17 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,272 \text{ mm}$

$t = 17 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,272 \text{ mm}$

Jadi, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai masing-masing dimensi yaitu sebesar: $p = 310 \text{ mm} + 4,96 \text{ mm} = 314,96 \text{ mm}$

$l = 17 \text{ mm} + 0,272 \text{ mm} = 17,272 \text{ mm}$

$t = 17 \text{ mm} + 0,272 \text{ mm} = 17,272 \text{ mm}$

b. *Machining allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.10 *Machining allowance* untuk beberapa material, didapatkan nilai *machining allowance* untuk material *non-ferrous* di *surface* sebesar 1,5 mm untuk satu sisi *surface*, jika saat *machining* dilakukan di dua sisi *surface* berbeda, maka nilai *allowance*-nya dikali 2. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$p = 314,96 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 317,96 \text{ mm}$

$l = 17,272 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,272 \text{ mm}$

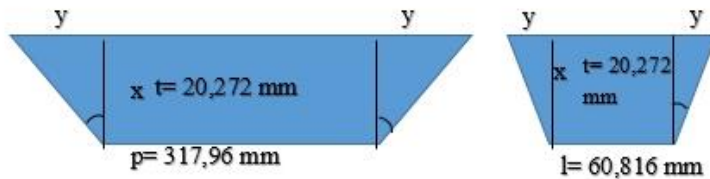
$t = 17,272 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 20,272 \text{ mm}$



Khusus untuk dimensi lebar(l), ukurannya di kali 3 karena ingin membuat 3 spesimen tarik dengan lebar masing-masing 20,272 mm, sehingga nilainya menjadi
 $p = 317,96 \text{ mm}$
 $l = 20,272 \text{ mm} \times 3 = 60,816 \text{ mm}$
 $t = 20,272 \text{ mm}$

c. *Draft allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.9 Nilai *draft pattern* maka di dapatkan sudut *draft*. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *pattern* dengan berbahan kayu, maka dari Tabel 2.9 di dapatkan nilai sudut *draft*-nya sebesar $1,5^\circ$. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang dan lebar *allowance*-nya sebagai berikut:



$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{20,272 \text{ mm}}$$

$$y = 0,53 \text{ mm}$$

$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{20,272 \text{ mm}}$$

$$y = 0,53 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan masing- dimensi sebagai berikut:

$$p = 317,96 \text{ mm} + 2(y) = 317,96 \text{ mm} + 2(0,53) = 319,02 \text{ mm}$$

$$l = 60,816 \text{ mm} + 2(y) = 60,816 \text{ mm} + 2(0,53) = 61.876 \text{ mm}$$

$$t = 20,272 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}\text{Volum casting} &= p \times l \times t \\ &= 319,02 \text{ mm} \times 61.876 \text{ mm} \times 20,272 \text{ mm} \\ &= 400162,82 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

2. Melakukan perhitungan pada *Gatting* Sistem

Tabel 3.1 Perhitungan *Gatting* Sistem

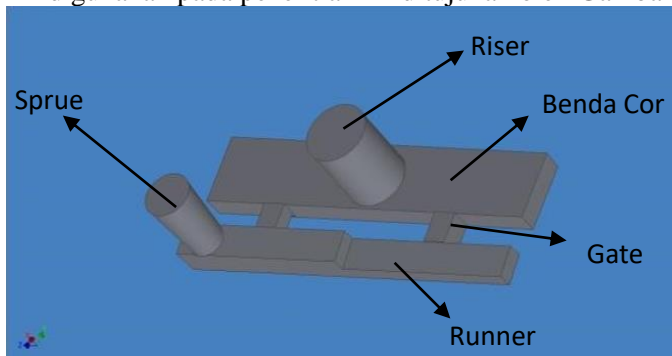
Dimensi Spesimen	Ukuran Awal	Shrinkage Allowance	Machining Allowance	Draft Allowance
Panjang (mm)	310	314.96	317.96	319.014144
Lebar (mm)	17	17.272	60.816	61.870144
Tinggi (mm)	17	17.272	20.272	20.272
Volume Casting (mm3)	400117.6072			
Surface Area Casting awal (mm2)	54917.47463			
Diameter Riser (mm)	55			
Tinggi Riser (mm)	70			
Volume Riser (mm3)	166223.75			
Surface Area Riser awal (mm2)	16838.25			
Luas Kontak (mm2)	2374.625			
S A Casting (mm2)	52542.84963			
S A Riser (mm2)	14463.625			
Freezing Ratio (smb-X)	1.509182923			
Volume Ratio (Smb-Y)	0.415437229			
Tipe Riser	Open			
Density Paduan (kg/mm3)	0.0000089			
W casting (Kg)	3.561046704			
Pouring Time (s)	15			
Effisiensi Factor	0.9			
Luas Choke Sprue (mm2)	792.1179898			
Diamer Sprue (mm)	31.76582287			
Tinggi Bashin (mm)	25			
Luas Top Sprue (mm2)	1325.466917			
Diameter Top Sprue	41.09127508			
Luas Runner 1 (mm2)	792.1179898			
Sisi Runner 1 (mm)	28.14459077			
Panjang Runner (mm)	319.014144			
Luas Inggate 1 (mm2)	396.0589949			
Sisi Inggate 1 (mm)	19.90123099			
Luas Inggate 2 (mm2)	415.8619446			
Sisi Inggate 2 (mm)	20.39269341			
Luas Runner 2 (mm2)	415.8619446			
Tinggi Runner 2 (mm)	14.77591016			

3. Menyiapkan dan menimbang kedua bahan yaitu tembaga dan nikel dengan kadar Cu-10Ni, Cu-20Ni, Cu-30Ni, dan Cu-40Ni. Dari perhitungan *gating* sistem, didapatkan nilai berat *casting* sebesar 3,56 kg. Dengan menggunakan komposisi masing-masing material di dapatkan berat masing-masing unsur. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi Berat *Raw Material Input*

No.	Paduan	Cu (kg)	Ni (Kg)
1	Cu-10Ni	7,02	0,78
2	Cu-20Ni	6,24	1,56
3	Cu-30Ni	5,46	2,34
4	Cu-40Ni	4,68	3,12

3. Menyiapkan cetakan pasir yang terdiri dari campuran pasir dan cetakan komponen. Pola cetakan pasir yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pola Cetakan Pasir

4. Menyiapkan *crucible furnace* yang terdiri dari krus, *furnace*, gas LPG, glaswool, batu tahan api, dan blower seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



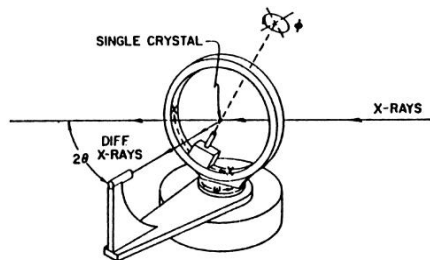
Gambar 3.6 Skema *Crucible Furnace*

5. Memasukkan logam hasil timbangan ke dalam krus dan memanaskan *crucible furnace* hingga hingga temperatur 1500°C tercapai dengan waktu ± 100 menit tanpa proses *holding* seperti yang terlihat pada.
6. Mengangkat batu tahan api dan *glasswool* di atas *furnace*, lalu mengaduk campuran logam yang sudah meleleh dengan menggunakan pengaduk besi saMPai paduan logam tercampur secara homogen
7. Mengangkat krus dan menuangkan *molten metal* ke dalam cetakan yang telah disiapkan
8. Mendinginkan logam paduan yang masih cair di dalam cetakan hingga mencapai temperatur kamar
9. Mengeluarkan logam paduan dari cetakan
10. Melakukan proses *machining* pada logam paduan hasil pengecoran

3.4.2 Prosedur Pengujian

3.4.2.1 Pengujian XRD

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan setelah mengalami proses *casting*. Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan sinar X oleh material dan penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut berkas difraksi. Gambar 3.7 menjelaskan sedikit mekanisme kerja dari XRD.

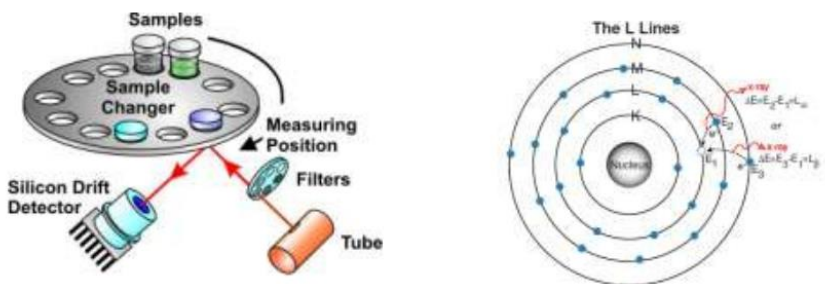


Gambar 3.7 Prinsip Kerja Pengujian XRD

3.4.2.2 Pengujian Komposisi Kimia

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan

elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 3.8 Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (discrete) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discrete yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

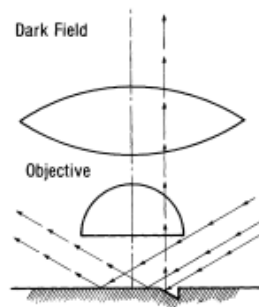


Gambar 3.8 Prinsip Pengujian Komposisi Kimia

3.4.2.3 Pengujian Metalografi

Pengujian struktur mikro atau biasa disebut metalografi adalah pengujian yang dilakukan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah mikroskop optik. Dengan

dibantu oleh perbesaran pada alat mikroskop optik, serta adanya faktor cahaya yang dipantulkan ke arah mata seperti pada Gambar 3.9, maka akan terlihat struktur mikro dari spesimen uji tersebut. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan dilakukan pada struktur mikro yang terbentuk adalah dengan memperhatikan pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikro. Adapun larutan etsa yang digunakan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan etsa kode 34 dengan komposisi 5gr FeCl_3 , 50 ml HCl , dan 100 ml aquades. Proses etsa dapat digunakan dengan cara dicelup maupun diusap selama beberapa detik saMPai beberapa menit.

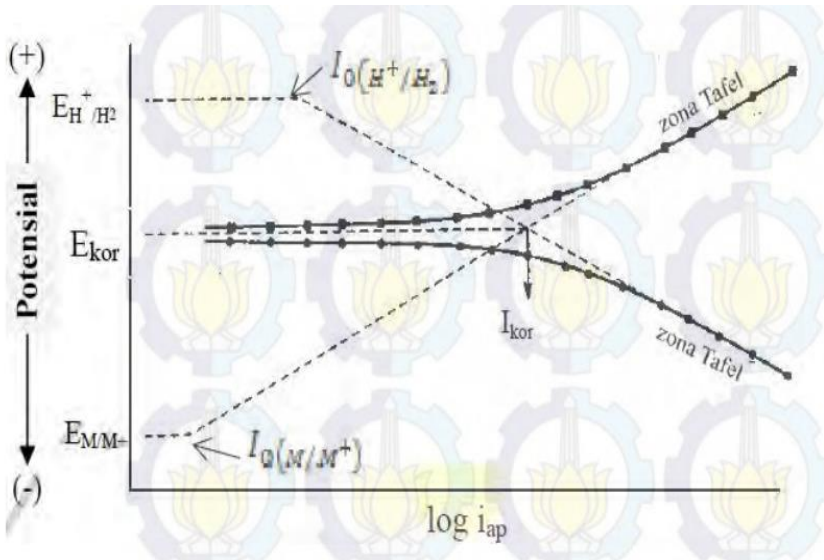


Gambar 3.9 Arah Cahaya pada Pengujian Metalografi

3.4.2.4 Pengujian Korosi

Salah satu teknik untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik adalah metode polarisasi potensiodinamik (Sunarya, 2008). Jika anoda dan katoda yang ada dalam suatu elektrolit terhubung singkat, maka reaksi-reaksi anodik dan katodik akan berlangsung secara sereMPak, disebabkan terbentuknya sistem mikrosel elektrokimia. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik. Hal ini disebabkan karena adanya beda potensial antara logam dan larutan elektrolit sebagai lingkungannya. Beda potensial ini dinamakan dengan potensial korosi (E). (Sunarya, 2008).

Ada dua macam jenis polarisasi yaitu, polarisasi anodik dan polarisasi katodik. Kedua polarisasi ini akan diterjemahkan ke dalam persamaan Tafel menjadi tetapan Tafel anodik (β_a) dan tetapan Tafel katodik (β_c).



Gambar 3.10 Grafik pengujian Tafel

Tahanan polarisasi (R_p) merupakan ketahanan spesimen terhadap oksidasi selama diberi arus luar. Penggunaan tahanan polarisasi yang paling utama adalah menentukan laju korosi. Laju korosi akan diperoleh berdasarkan kemiringan kurva potensial sebagai fungsi rapat arus di sekitar potensial korosinya. Kelebihan dari penggunaan metode ini selain dapat menentukan laju korosi, V_{kor} , C_{kor} juga dapat mengukur tahanan polarisasi (R_p) dan kerapatan arus korosi, I_{kor} dengan cepat. Dengan menentukan kerapatan arus korosi, I dapat diketahui dari tetapan anodik β_a , tetapan Tafel katodik β_c , dan tahanan polarisasi, R_p pada baja karbon. Nilai I ditentukan dengan menggunakan persamaan:



$$i_{kor} = \frac{I_{kor}}{A}$$

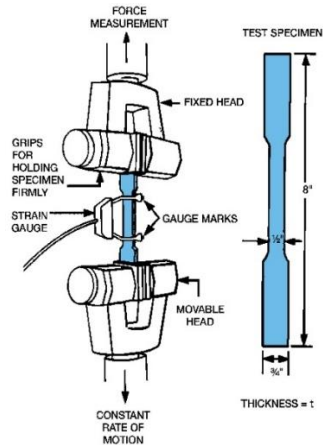
Laju korosi dapat ditentukan dari nilai kerapatan arus korosi melalui persamaan berikut:

$$C_{kor} = 3,27 \times 10^3 \frac{EW}{\rho} i_{kor}$$

Dimana C_{kor} merupakan laju korosi (mm.th^{-1}). EW adalah massa ekuivalen logam ($\text{g.mol}^{-1}.\text{ek}^{-1}$), I_{kor} adalah rapat arus korosi ($\mu\text{A.cm}^{-2}$), dan ρ adalah massa jenis logam yang diukur (g.cm^{-3}) (Sunarya, 2008).

3.4.2.5 Pengujian Tarik

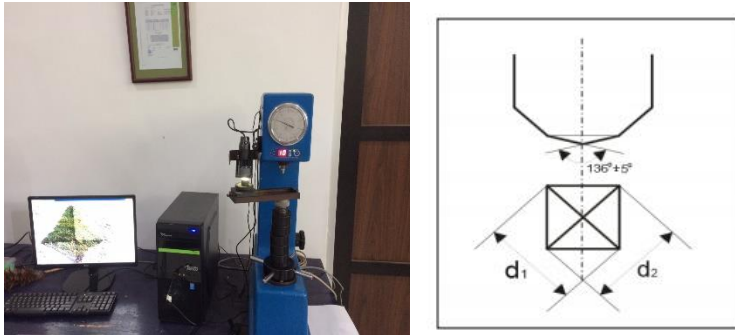
Pengujian tarik adalah pengujian yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Selain itu, uji ini juga dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Dilakukan berdasarkan standar ASTM E8 di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Material ITS. Spesimen disiapkan sesuai dengan standar uji yang digunakan. Memasangkan spesimen pada alat pengujian dan pastikan spesimen terkunci pada *grip*. Memberikan beban secara terus menerus sampai spesimen mengalami patah. Grafik uji tarik akan dihasilkan setelah pengujian selesai dilakukan. Pada Gambar 3.11 menjelaskan tentang mesin uji tarik dan spesimen yang berada pada alat uji tersebut.



Gambar 3.11 Prinsip Uji Tarik

3.4.2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui harga kekerasan dari suatu material, dimana kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap deformasi permanen oleh penekanan. Kekerasan dapat diukur dengan cara pengujian menggunakan alat kekerasan Vickers (Vickers Hardness Tester). Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987).



Gambar 3.12 Alat Uji Vickers

Gambar 3.12 menunjukkan alat pengujian Vickers di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS. Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} \rightarrow = \frac{(1,854)P}{d^2}$$

Dimana: VHN : Nilai kekerasan Vickers (N/mm²)
P : Beban yang digunakan (N)
d : Diagonal rata-rata (mm)

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Ø: Sudut antara permukaan intan yang saling berhadapan (136°)

3.5 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada tabel di bawah.



Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

Material		Pengujian					
Cu (wt%)	Ni (wt%)	Uji XRD	Uji OES	Uji Metalografi	Uji Korosi	Uji Tarik	Uji Kekerasan
90	10	V	V	V	V	V	V
80	20						
70	30						
60	40						



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Cu-Ni

Setelah melakukan peleburan logam tembaga dan nikel, didapatkan hasil peleburan paduan tembaga nikel (Cu-Ni) dengan komposisi masing-masing Cu-10Ni, Cu-20Ni, Cu-30Ni, dan Cu 40Ni. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.1. Seiring bertambahnya unsur nikel pada paduan Cu-Ni, maka logam cenderung berwarna abu-abu.



Gambar 4.1 Hasil Pengecoran Padauan Cu-Ni, (a) Cu-10Ni, (b) Cu-20Ni, (c) Cu-30Ni, (d) Cu-40Ni



Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengecoran paduan Cu-Ni. Gambar 4.1 (a) menunjukkan hasil pengecoran Cu-10Ni adalah paduan dengan komposisi nikel sebesar 10% dan tembaga sebesar 90%. Paduan Cu-10Ni berwarna jingga. Warna jingga merupakan warna dasar tembaga. Hasil pengecoran tersebut memiliki *defect* atau cacat berupa cacat porositas. Gambar 4.1 (b) menunjukkan hasil pengecoran Cu-20Ni adalah paduan dengan komposisi nikel sebesar 20% dan tembaga sebesar 80%. Paduan Cu-20Ni berwarna perak kejinggaan yang dikarenakan adanya penambahan unsur nikel pada logam paduan Cu-20Ni. Hasil pengecoran tersebut memiliki *defect* atau cacat berupa cacat porositas. Gambar 4.1 (c) menunjukkan hasil pengecoran Cu-30Ni dengan komposisi nikel sebesar 30% dan tembaga sebesar 70%. Paduan Cu-30Ni berwarna jingga perak yang dikarenakan adanya penambahan unsur nikel pada logam paduan Cu-30Ni. Hasil pengecoran tersebut memiliki *defect* atau cacat berupa cacat porositas. Gambar 4.1 (d) menunjukkan hasil pengecoran Cu-40Ni dengan komposisi nikel sebesar 40% dan tembaga sebesar 60%. Paduan Cu-40Ni perak yang dikarenakan adanya penambahan unsur nikel pada logam paduan Cu-4Ni. Hasil pengecoran tersebut memiliki *defect* atau cacat berupa cacat porositas.

4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Ni

Pada proses peleburan pada penelitian ini menggunakan *raw material rod* Cu 99,9% dan *Ni sheet* 98,33%. Rancangan komposisi pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Cu-Ni (% wt)

Paduan	Komposisi Rancangan		Komposisi Aktual		Selisih Komposisi	
	Cu (% wt)	Ni (% wt)	Cu (% wt)	Ni (% wt)	Cu (% wt)	Ni (% wt)
Cu-10Ni	90	10	91,57	8,03	1,57	-1,97
Cu-20Ni	80	20	76,42	21,8	-3,58	1,8



Paduan	Komposisi Rancangan		Komposisi Aktual		Selisih Komposisi	
	Cu (% wt)	Ni (% wt)	Cu (% wt)	Ni (% wt)	Cu (% wt)	Ni (% wt)
Cu-30Ni	70	30	70,08	29,05	0,08	-0,95
Cu-40Ni	60	40	69,56	30,4	9,56	-9,6

Pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil pengujian komposisi kimia rancangan sebelum proses peleburan dibandingkan komposisi kimia setelah proses peleburan. Pada paduan Cu-10Ni, hasil pengujian komposisi kimia berbeda dengan rancangan yang sudah dibuat. Pada paduan tersebut terjadi kenaikan unsur Cu sebesar 1,57 %wt dari rancangan awal sebesar 90 %wt ke kondisi aktual sebesar 91,57 %wt, sedangkan pada unsur Ni terjadi pengurangan sebesar -1,97 %wt dari rancangan awal 10 %wt ke kondisi aktual sebesar 8,03 %wt. Selanjutnya Pada paduan Cu-20Ni, hasil pengujian komposisi kimia berbeda dengan rancangan yang sudah dibuat. Pada paduan tersebut terjadi pengurangan unsur Cu sebesar -3,58 %wt dari rancangan awal sebesar 80 %wt ke kondisi aktual sebesar 76,42 %wt, sedangkan pada unsur Ni terjadi kenaikan sebesar 1,8 %wt dari rancangan awal 20 %wt ke kondisi aktual sebesar 21,8 %wt. Selanjutnya Pada paduan Cu-30Ni, hasil pengujian komposisi kimia berbeda dengan rancangan yang sudah dibuat. Pada paduan tersebut terjadi Kenaikan unsur Cu sebesar 0,08 %wt dari rancangan awal sebesar 70 %wt ke kondisi aktual sebesar 70,08 %wt, sedangkan pada unsur Ni terjadi pengurangan sebesar 0,95 %wt dari rancangan awal 30 %wt ke kondisi aktual sebesar 29,05 %wt. Selanjutnya Pada paduan Cu-40Ni, hasil pengujian komposisi kimia berbeda dengan rancangan yang sudah dibuat. Pada paduan tersebut terjadi Kenaikan unsur Cu sebesar 9,56 %wt dari rancangan awal sebesar 60 %wt ke kondisi aktual sebesar 69,56 %wt, sedangkan pada

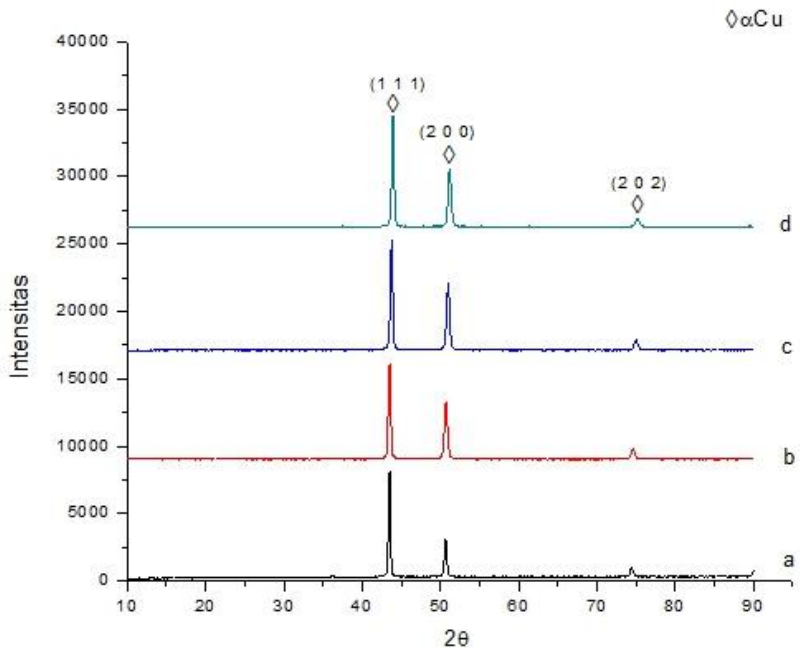


unsur Ni terjadi pengurangan sebesar -9,6 % wt dari rancangan awal 40 % wt ke kondisi aktual sebesar 30,4 % wt.

Berdasarkan hasil pengujian, unsur Ni lebih banyak mengalami pengurangan dibandingkan unsur Cu. Hal ini terjadi karena unsur Ni mengalami oksidasi selama proses peleburan. Menurut diagram ellingham, unsur Ni lebih mudah mengalami oksidasi karena memiliki Nilai Energi Bebas Gibbs yang lebih negatif dibandingkan unsur Cu. Unsur Ni lebih mudah bereaksi dengan oksigen membentuk nikel oksida (NiO) dan terlihat sebagai terak (*slag*) yang mengapung diatas logam cair. Terak pada permukaan paduan Cu-Ni dihilangkan menggunakan alat gerinda. Namun berdasarkan pengujian tersebut, unsur Cu juga mengalami pengurangan. Hal ini disebabkan karena adanya unsur lain yang tercampur ke dalam paduan Cu-Ni sehingga unsur utama Cu dan Ni keduanya mengalami pengurangan. Unsur lain tersebut adalah Fe yang berasal dari batang pengaduk. Batang pengaduk yang terbuat dari Fe meleleh selama proses pengadukan paduan Cu-Ni (Komaruddin, 2009).

4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Cu-Ni

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS sesuai standar ASTM C958. Pengamatan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Cu-Ni. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pola XRD Paduan Cu-Ni, (a) Cu-10Ni, (b) Cu-20Ni, (c) Cu-30Ni, (d) Cu-40Ni

Analisis pola pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan software Match2!. Hasil pada Gambar 4.2 (a) terlihat Pada logam Cu-10Ni, *peak* Cu muncul di 2θ 43,52 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,7 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,55 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-431-3208.

Pada Gambar 4.2 (b) terlihat paduan Cu-20Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 43,29 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 50,47 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,11 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-500-0217.



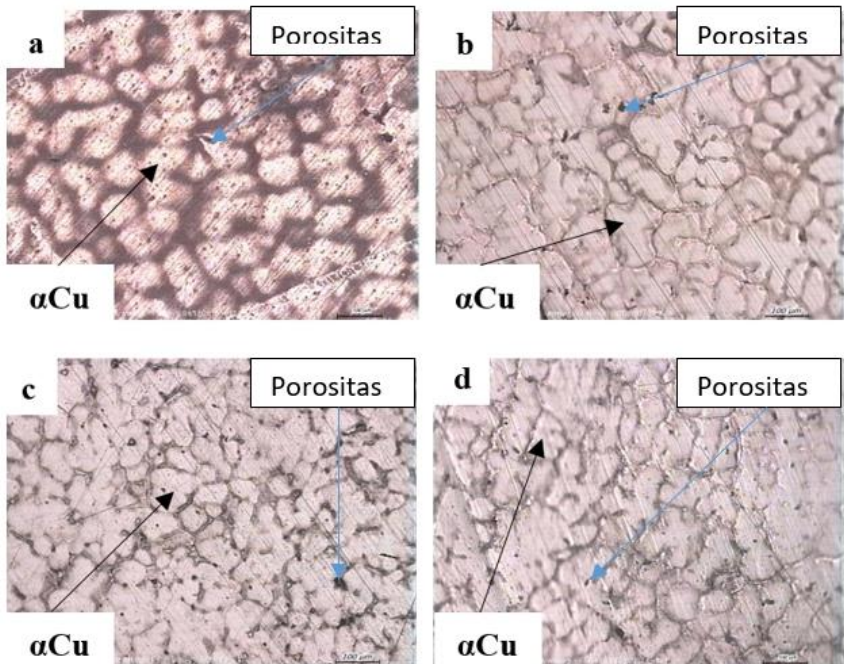
Pada Gambar 4.2 (c) terlihat paduan Cu-30Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 43,75 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 51,02 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 74,89 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-410-5041.

Pada Gambar 4.2 (d) terlihat paduan Cu-40Ni, *peak* Cu muncul di sudut 2θ 44,45 pada bidang (1 1 1), kemudian di 2θ 51,78 pada bidang (2 0 0), dan di 2θ 76,04 pada bidang (2 0 2) dengan nama fasa *copper*. Fasa *copper* yang muncul ini memiliki struktur kristal *cubic* sesuai dengan nomor PDF #96-410-5041.

Dari hasil pengujian XRD seluruh paduan logam, *peak* yang muncul menunjukkan *peak* Cu. *Peak* Ni tidak muncul pada hasil pengujian XRD ini. Hal ini disebabkan karena unsur Ni larut sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni memiliki kesamaan dengan atom Cu yaitu *Face Centered Cubic*. Jika dipadukan, atom Ni menggantikan atom Cu pada struktur kristal sehingga membentuk larutan padat substitusional. Larutan padat substitusi yang terbentuk tersebut adalah fasa α . Di dalam fasa α tersebut, unsur Ni merupakan unsur yang terlarut di dalam unsur pelarut Cu. Oleh karena itu, fasa yang muncul di hasil pengujian XRD ini adalah fasa α Cu karena unsur Cu memiliki komposisi yang lebih banyak sebagai pelarut (Frederick, 1956).

4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Ni

Pengamatan struktur mikro paduan Cu-Ni dilakukan dengan pengujian metalografi sesuai ASTM E-407. Larutan etsa yang digunakan adalah etsa kode 34 dengan bahan 5 gr FeCl_3 , 50 ml HCl, dan 100 ml *aquades*. Pemberian larutan etsa pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *swab*. *Swab* dilakukan sebanyak 1-2 kali. Hasil pengamatan struktur mikro seluruh paduan Cu-Ni dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Ni (As-Cast)
(a) Cu-10Ni (b) Cu-20Ni (c) Cu-30Ni (d) Cu-40Ni pada Perbesaran 100 kali

Gambar 4.1 menunjukkan struktur mikro pengecoran paduan Cu-Ni. Gambar 4.3 (a) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-10Ni pada perbesaran 100 kali. Berdasarkan diagram fasa Cu-Ni paduan Cu-10Ni menjadi liquid semua pada temperature 1100 °C dan menjadi solid semua pada temperatur 1087 °C. Paduan Cu-20Ni menjadi liquid semua pada temperature 1200 °C dan menjadi solid semua pada temperatur 1110 °C. Paduan Cu-30Ni menjadi liquid semua pada temperature 1250 °C dan menjadi solid semua pada temperatur 1200 °C. Paduan Cu-40Ni menjadi liquid semua pada temperature 1270 °C dan menjadi solid semua pada temperatur 1210 °C. Fasa yang terbentuk adalah fasa tunggal α Cu.



Fasa α Cu yang taMPak terdiri dari bagian terang dan gelap. Fasa α Cu merupakan fasa isomorfus sehingga bagian terang dan gelap adalah satu fasa yang sama. Bagian terang dan gelap berada di dalam satu butir fasa α Cu. Bagian terang dari α Cu merupakan bagian yang membeku terlebih dahulu. Bagian gelap dari α Cu merupakan bagian yang membeku terakhir. Unsur Ni akan membeku terlebih dahulu dibandingkan unsur Cu. Pada proses pembekuan, inti Ni akan terlebih dahulu terbentuk. Inti Ni akan menarik unsur yang homogen untuk membeku sehingga butir akan tumbuh ke bagian luar diameter inti dari fasa α Cu di dalam satu butir. Ketika unsur Ni sudah habis, unsur Cu kemudian akan membeku. Oleh karena itu, bagian yang terang pada fasa α Cu kaya akan unsur Ni sedangkan bagian yang gelap pada fasa α Cu kaya akan unsur Cu. Bintik-bintik hitam pada bagian gelap merupakan porositas. Porositas terbentuk karena sudah tidak ada lagi unsur yang membeku. Porositas terlihat berukuran besar, berjumlah banyak, dan tersebar merata hampir di seluruh bagian struktur mikro (Wibowo, 2012).

Gambar 4.3 (b) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-20Ni pada perbesaran 100 kali. Fasa yang terbentuk adalah fasa tunggal α Cu. Fasa α Cu yang taMPak terdiri dari bagian terang dan gelap. Bagian terang dari fasa α Cu taMPak semakin banyak seiring bertambahnya komposisi Ni. Bagian gelap dari α Cu semakin sedikit seiring berkurangnya komposisi Cu. Jumlah bintik bintik hitam atau porositas yang terlihat semakin sedikit. Porositas berukuran kecil, berjumlah sedikit, dan tersebar merata di pengamatan struktur mikro.

Gambar 4.3 (c) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-30Ni pada perbesaran 100 kali. Fasa yang terbentuk adalah fasa tunggal α Cu. Fasa α Cu yang taMPak terdiri dari bagian terang dan gelap. Bagian terang dari fasa α Cu taMPak semakin banyak dan lebar seiring bertambahnya komposisi Ni. Bagian gelap dari α Cu semakin sedikit dan sempit seiring berkurangnya komposisi Cu. Jumlah bintik bintik hitam atau porositas yang terlihat sedikit. Porositas berukuran kecil, berjumlah sedikit, dan tidak tersebar merata di pengamatan struktur



mikro. Seiring bertambahnya komposisi unsur Ni, bagian terang pada butir fasa α Cu semakin lebar. Bagian gelap pada butir fasa α Cu semakin kecil.

Gambar 4.3 (d) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Cu-40Ni pada perbesaran 100 kali. Struktur mikro yang tampak berupa butir-butir fasa α Cu yang memiliki warna gelap dan terang. Bagian terang dari fasa α Cu tampak semakin banyak dan lebar seiring bertambahnya komposisi Ni. Bagian gelap dari α Cu semakin sedikit dan sempit seiring berkurangnya komposisi Cu. Jumlah titik hitam atau porositas yang terlihat sedikit. Porositas berukuran kecil, berjumlah sedikit, dan tidak tersebar merata di pengamatan struktur mikro. Seiring bertambahnya komposisi unsur Ni, bagian terang pada butir fasa α Cu semakin lebar. Bagian gelap pada butir fasa α Cu semakin kecil.

Hal ini didasarkan pada hasil pengujian XRD yang menunjukkan bahwa fasa yang terdapat pada paduan Cu-Ni adalah fasa tunggal α Cu. Mikrostruktur paduan Cu-Ni memiliki struktur fasa tunggal α karena Ni larut sepenuhnya dalam Cu membentuk larutan padat substitusional (Frederick, 1956).

4.5 Pengamatan Hasil Pengujian Tarik Paduan Cu-Ni

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur Ni terhadap nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* dari masing masing paduan logam. Standar spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah logam berbentuk silinder sesuai standar ASTM E8M. Spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik akan mengalami patah pada bagian *gauge length* setelah pengujian dilakukan. Pola patahan hasil pengujian tarik dari seluruh logam paduan Cu-Ni dapat dilihat di Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Paduan Cu-Ni (a) Cu-10Ni (b) Cu-20Ni (c) Cu-30Ni (d) Cu-40Ni

Gambar 4.4 menunjukkan pola patahan hasil pengujian tarik paduan Cu-Ni. Gambar 4.4 (a) merupakan hasil pengujian tarik logam paduan Cu-10Ni. Pola patahan yang terbentuk menunjukkan garis yang sedikit tidak rata di kedua belah sisi. Gambar 4.4 (b) merupakan hasil pengujian tarik logam paduan Cu-20Ni. Pola patahan yang terbentuk menunjukkan garis bergelombang di kedua belah sisi. Gambar 4.4 (c) merupakan hasil pengujian tarik logam paduan Cu-30Ni. Pola patahan yang terbentuk menunjukkan garis



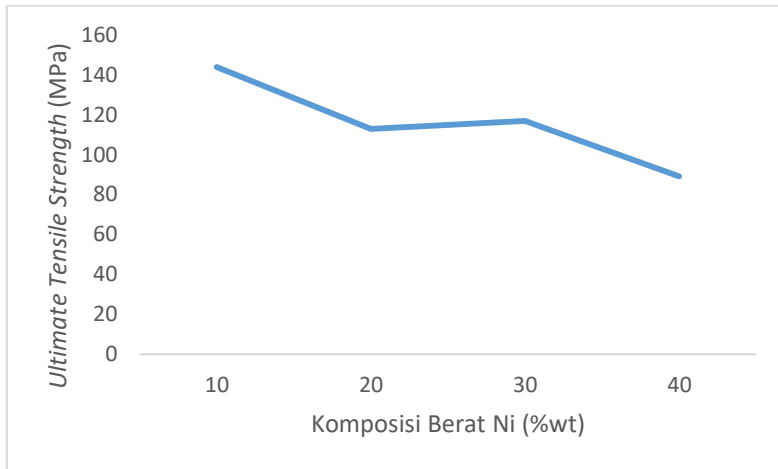
yang sedikit bergelombang di kedua belah sisi. Gambar 4.4 (d) merupakan hasil pengujian tarik logam paduan Cu-40Ni. Pola patahan yang terbentuk menunjukkan garis yang tidak rata dan tidak bergelombang. Secara keseluruhan pola patahan hasil pengujian tarik menunjukkan pola patahan logam bersifat ulet. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian tarik logam paduan Cu-Ni dapat dilihat pada Tabel 4.2 saMPai Tabel 4.5. Hubungan antara hasil pengujian tarik dengan persen berat penambahan unsur Ni dapat dilihat pada dan dari Gambar 4.5 saMPai Gambar 4.8.

Tabel 4.2 menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* yang didapat dari hasil pengujian tarik pada logam paduan Cu-Ni. Pengujian tarik dilakukan satu kali pada masing-masing variasi penambahan unsur Ni logam paduan Cu-Ni.

Tabel 4.2 Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Cu-Ni

No	Paduan	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)
1	Cu-10Ni	143,7
2	Cu-20Ni	112,7
3	Cu-30Ni	116,7
4	Cu-40Ni	89,1

Paduan logam Cu-10Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 143,7 MPa. Logam paduan Cu-20Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 112,7 MPa. Logam paduan Cu-30Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 116,7 MPa. Logam paduan Cu-40Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* sebesar 89,1 MPa. Terdapat penurunan nilai *ultimate tensile strength* dari logam Cu-10Ni ke logam Cu-40Ni. Hal ini dapat terjadi karena adanya cacat porositas yang terbentuk pada spesimen uji tarik. Penambahan unsur Ni tentunya akan mempengaruhi sifat mekanik dari paduan Cu-Ni. Namun, dengan adanya porositas maka akan memperburuk sifat mekanik (Frederick, 1956).



Gambar 4.5 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai *Ultimate Tensile Strength* Paduan Cu-Ni

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara nilai *ultimate tensile strength* dengan penambahan unsur Ni pada logam paduan Cu-Ni. Penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni mempengaruhi nilai *ultimate tensile strength*. Namun, nilai dari *ultimate tensile strength* juga dipengaruhi dengan adanya cacat porositas. Cacat porositas ini yang menyebabkan nilai *ultimate tensile strength* dari logam Cu-10Ni memiliki nilai paling tinggi dibandingkan paduan lainnya. Walaupun terdapat porositas, penambahan unsur Ni mempengaruhi naiknya nilai *ultimate tensile strength*. Paduan Cu-30Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-20Ni. Paduan Cu-40Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-30Ni. Hal ini terjadi karena penambahan komposisi Ni 10-40% akan meningkatkan sifat mekanik dari Cu. Penambahan unsur Ni membentuk paduan isomorfus dan belum sampai di batas jenuh penambahan paduan. Oleh karena itu, semakin banyaknya komposisi Ni dalam paduan Cu-Ni, nilai *ultimate tensile strength* semakin tinggi (Frederick, 1956).

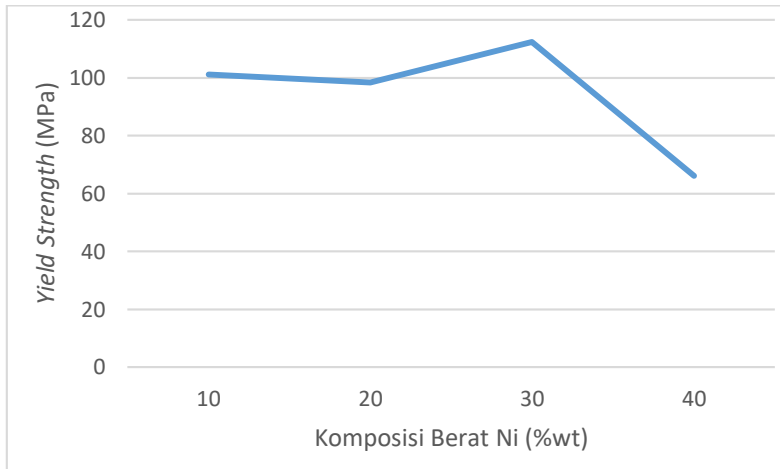


Tabel 4.3 menunjukkan nilai *yield strength* yang didapat dari hasil pengujian tarik pada logam paduan Cu-Ni. Didapatkan data nilai *yield strength* dari masing-masing variasi penambahan unsur Ni logam paduan Cu-Ni.

Tabel 4.3 Nilai *Yield Strength* Paduan Cu-Ni

No	Paduan	<i>Yield Strength</i> (MPa)
1	Cu-10Ni	101,2
2	Cu-20Ni	98,4
3	Cu-30Ni	112,4
4	Cu-40Ni	66,2

Paduan logam Cu-10Ni memiliki nilai *yield strength* sebesar 101,2 MPa. Logam paduan Cu-20Ni memiliki nilai *yield strength* sebesar 98,4 MPa. Logam paduan Cu-30Ni memiliki rata-rata nilai *yield strength* sebesar 112,4 MPa. Logam paduan Cu-40Ni memiliki rata-rata nilai *yield strength* sebesar 66,2 MPa. Terdapat penurunan nilai *yield strength* dari logam Cu-10Ni ke logam Cu-40Ni. Hal ini dapat terjadi karena adanya cacat porositas yang terbentuk pada spesimen uji tarik. Penambahan unsur Ni tentunya akan mempengaruhi sifat mekanik dari paduan Cu-Ni. Namun, dengan adanya porositas maka akan memperburuk sifat mekanik (Wibowo, 2012).



Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai *Yield Strength* Paduan Cu-Ni

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara nilai *yield strength* dengan penambahan unsur Ni pada logam paduan Cu-Ni. Penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni mempengaruhi nilai *yield strength*. Namun, nilai dari *yield strength* juga dipengaruhi dengan adanya cacat porositas. Cacat porositas ini yang menyebabkan nilai *yield strength* dari logam Cu-30Ni memiliki nilai paling tinggi dibandingkan paduan lainnya. Walaupun terdapat porositas, penambahan unsur Ni mempengaruhi naiknya nilai *yield strength*. Paduan Cu-30Ni memiliki nilai *yield strength* lebih tinggi dibandingkan Cu-20Ni. Paduan Cu-40Ni memiliki nilai *yield strength* lebih rendah dibandingkan Cu-30Ni. Penambahan unsur Ni membentuk paduan isomorfus dan belum sampai di batas jenuh penambahan paduan. Oleh karena itu, semakin banyaknya komposisi Ni dalam paduan Cu-Ni, nilai *yield strength* semakin tinggi (Frederick, 1956).

Material yang umum digunakan untuk *ball valve* adalah baja AISI 430 (*low-alloy ferritic steel*). Baja AISI 430 dipilih untuk material *ball valve* karena memiliki nilai kekuatan tarik dan

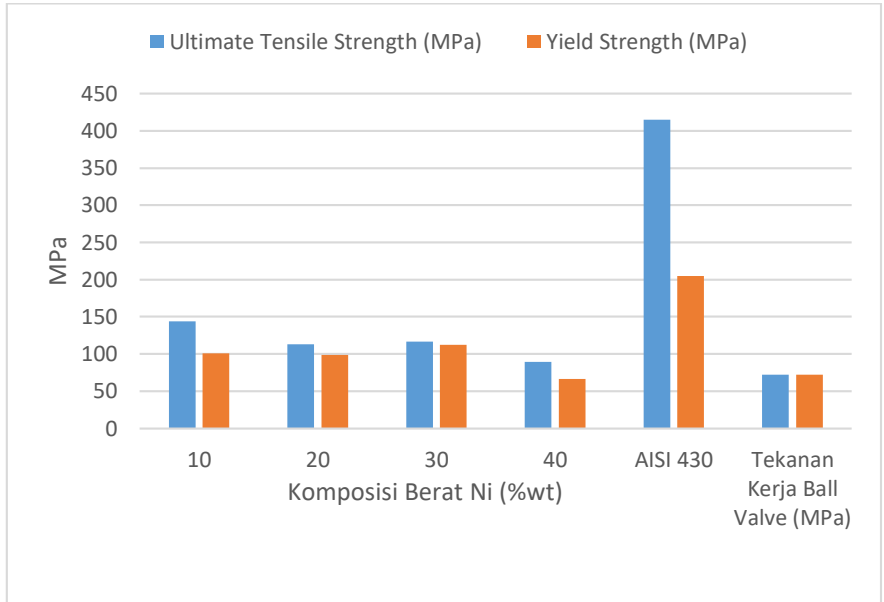


ketahanan korosi yang baik. Tabel 4.4 menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* dari material baja AISI 430 dan paduan Cu-Ni.

Tabel 4.4 Nilai Kekuatan Tarik Material baja AISI 430 dengan Paduan Cu-Ni (ASM International, 2001)

No	Material	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (MPa)
1	Cu-10Ni	143,7	101,2
2	Cu-20Ni	112,7	98,4
3	Cu-30Ni	116,7	112,4
4	Cu-40Ni	89,1	66,2
Material Standar Ball Valve AISI 430		415	205
Tekanan Kerja Ball Valve (MPa)		0,14-72	

Logam paduan Cu-Ni memiliki nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* yang lebih rendah dibandingkan baja AISI 430. Pada kondisi kerja, *ball valve* bekerja pada tekanan sebesar 35 MPa. Perbandingan keseluruhan nilai kekuatan tarik material baja AISI 430 dengan logam Cu-Ni pada kondisi kerja *ball valve* dapat dilihat di Gambar 4.7



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Material AISI 430 dengan Logam Cu-Ni

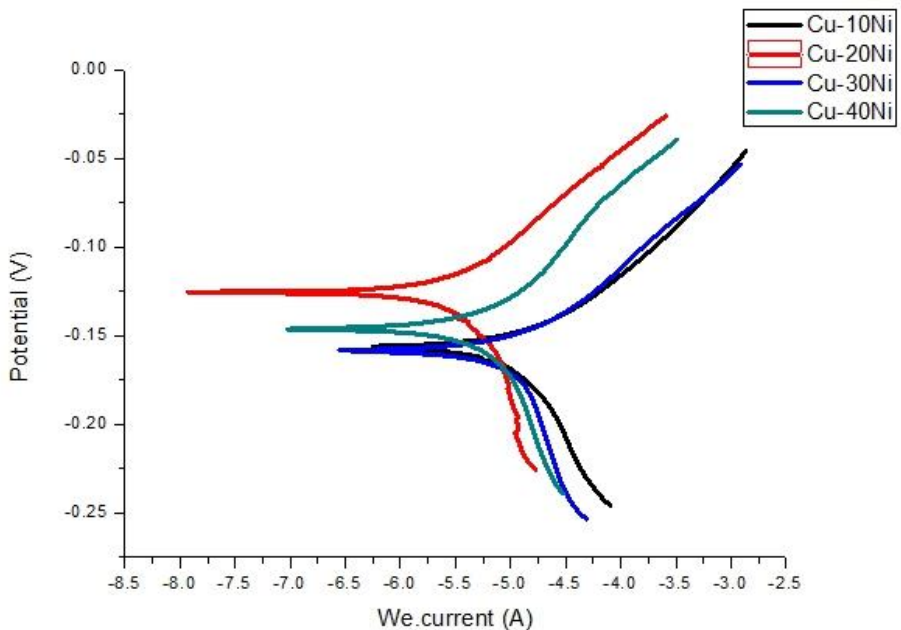
Pada Gambar 4.7, keseluruhan nilai yang dimiliki oleh paduan Cu-Ni terpaut jauh lebih rendah dengan baja AISI 430. Hal ini disebabkan karena adanya cacat porositas pada paduan Cu-Ni. Porositas mempengaruhi sifat mekanik suatu material. Semakin banyak porositas yang terbentuk, maka sifat mekanik akan semakin buruk (Wibowo, 2012). Proses pembuatan paduan Cu-Ni dengan menggunakan cetakan pasir menjadi penyebab terbentuknya banyak porositas. Kondisi cetakan pasir yang kurang padat menyebabkan banyak udara terperangkap di antara butiran pasir. Ketika logam panas dituang ke dalam cetakan, udara akan menguap dan terperangkap di dalam logam selama proses solidifikasi. Keseluruhan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* dari baja AISI 430 memang lebih baik dari paduan Cu-Ni pada penelitian ini. Oleh karena itu, paduan Cu-Ni pada penelitian



ini belum dapat menggantikan baja AISI 430 sebagai material *ball valve* namun sudah memenuhi kekuatan minimal *ball valve*.

4.6 Pengamatan Hasil Tafel Paduan Cu-Ni

Pengujian tafel atau polarisasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur Ni terhadap nilai *corrosion rate* dari masing masing paduan logam. Standar spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah logam berbentuk persegi panjang dengan luasan yang terpapar adalah 1cm x 1cm. Spesimen yang digunakan untuk pengujian tafel akan mengalami polarisasi pada bagian luasan yang terpapar. Pola polarisasi dengan hasil arus dari seluruh logam paduan Cu-Ni dapat dilihat di Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik polarisasi Paduan Cu-Ni



Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara nilai arus *equivalent weight* (A) dan potensial (V) dengan logam paduan Cu-10Ni, Cu-20Ni, Cu-30Ni, dan Cu-40Ni. Penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni mempengaruhi nilai arus *equivalent weight* (A). Hal ini terjadi karena penambahan komposisi Ni 10-40% akan meningkatkan corrosion resistance berupa menurunnya nilai arus *equivalent weight* (A) yang berbanding lurus dengan corrosion resistance. Penambahan unsur Ni membentuk lapisan oksida pasif yang kuat berupa NiO. Oleh karena itu, semakin banyaknya komposisi Ni dalam paduan Cu-Ni, corrosion resistance akan meningkat (Frederick, 1956).

Tabel 4.5 menunjukkan nilai *corrosion rate* (mpy) yang didapat dari hasil pengujian tafel pada logam paduan Cu-Ni. Didapatkan data nilai *corrosion rate* (mpy) dari masing-masing variasi penambahan unsur Ni logam paduan Cu-Ni dan nilai *corrosion rate* (mpy) dari AISI 430 didapatkan dari literatur. variasi penambahan unsur Ni logam paduan Cu-Ni.

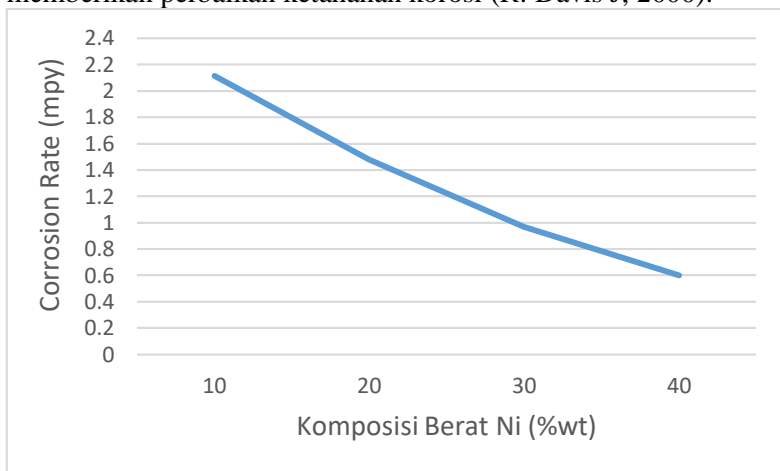
Tabel 4.5 Nilai Corrosion Rate paduan Cu-Ni dan AISI 430

No	Material	Corrosion Rate (mpy)
1	Cu-10Ni	2,1136918
2	Cu-20Ni	1,4773424
3	Cu-30Ni	0,967073
4	Cu-40Ni	0,5988406
AISI 430		0,9

Paduan logam Cu-10Ni memiliki nilai *corrosion rate* (mpy) sebesar 2,1136918 mpy. Logam paduan Cu-20Ni memiliki nilai *corrosion rate* (mpy) sebesar 1,4773424 mpy. Logam paduan Cu-30Ni memiliki rata-rata nilai *corrosion rate* (mpy) sebesar 0,967073 mpy. Logam paduan Cu-40Ni memiliki rata-rata nilai *corrosion rate* (mpy) sebesar 0,5988406 mpy. Pada material AISI 430 memiliki nilai *corrosion rate* (mpy) sebesar 0,9 mpy. Terdapat penurunan nilai *corrosion rate* (mpy) dari logam Cu-10Ni ke logam Cu-40Ni dimana penurunan tersebut menyebabkan paduan Cu-40Ni memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan Cu-



30Ni. Untuk material AISI 430 memiliki ketahanan korosi lebih baik dibandingkan paduan Cu-30Ni namun paduan Cu-40 Ni lebih baik dibandingkan AISI 430. Ketahanan korosi paduan Cu-30Ni lebih baik dari Cu-20Ni dan paduan Cu-20Ni lebih baik dibandingkan Cu-10Ni. Untuk semua material tersebut termasuk kedalam jenis korosi Band 0 yaitu memiliki ketahanan korosi sangat baik. Hal ini dapat terjadi karena bentuk nikel yang larut padat sempurna dengan tembaga dan kelarutan tersebut, dapat memberikan perbaikan ketahanan korosi (R. Davis J, 2000).

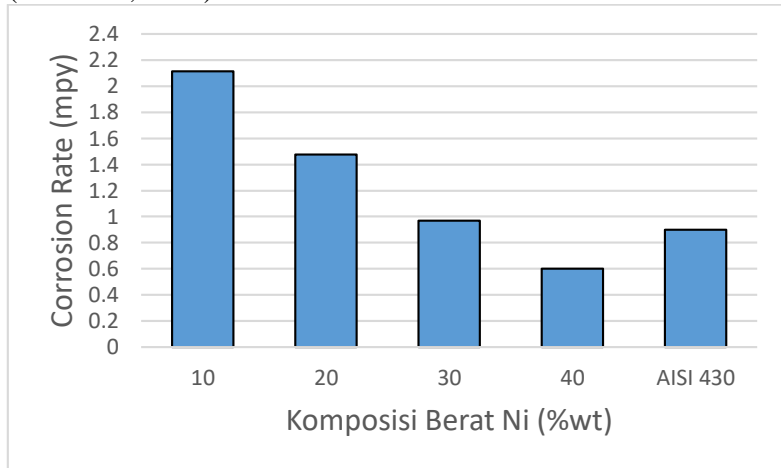


Gambar 4.9 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai *corrosion rate* (mpy) Paduan Cu-Ni

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara nilai *corrosion rate* (mpy) dengan penambahan unsur Ni pada logam paduan Cu-Ni. Penambahan unsur Ni pada paduan Cu-Ni mempengaruhi nilai *corrosion rate* (mpy). Paduan Cu-40Ni memiliki nilai *corrosion rate* (mpy) lebih rendah dibandingkan paduan yang lain. Semakin rendahnya nilai *corrosion rate* (mpy) menunjukkan semakin tingginya ketahanan korosi material tersebut. Hal ini dapat terjadi karena penambahan unsur Ni membentuk lapisan oksida pasif yang kuat berupa NiO. Oleh karena itu, semakin banyaknya komposisi



Ni dalam paduan Cu-Ni, *corrosion resistance* akan meningkat (Frederick, 1956).



Gambar 4.10 Perbandingan Nilai *corrosion rate* (mpy) Material AISI 430 dengan Logam Cu-Ni

Pada Gambar 4.10 menunjukkan keseluruhan nilai yang dimiliki oleh paduan Cu-Ni dan material AISI 430. Paduan Cu-40Ni memiliki ketahanan korosi lebih baik dibandingkan material AISI 430, namun material AISI 430 memiliki ketahanan korosi lebih baik dibandingkan material paduan lainnya. Hal ini seiring dengan semakin kecilnya nilai *corrosion rate* maka semakin tinggi ketahanan korosinya.

4.7 Pengamatan Hasil Uji Kekerasan Paduan Cu-Ni

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan paduan Cu-Ni terhadap indentasi dan goresan. Tabel 4.6 menunjukkan nilai kekerasan pada masing-masing paduan Cu-Ni. Setiap paduan dilakukan pengujian terhadap 3 titik sehingga didapatkan 3 kekerasan pada masing-masing spesimen. Beban yang digunakan adalah 100 kg dan indentasi dilakukan selama 10

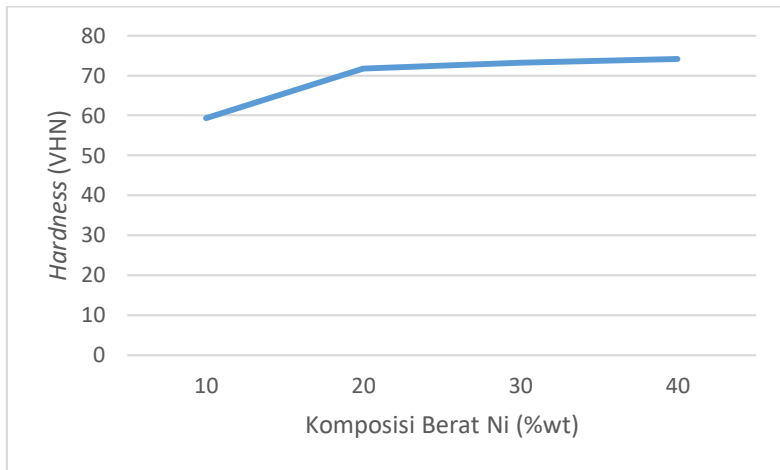


detik. Dari ketiga hasil tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata kekerasan setiap paduan Cu-Ni.

Tabel 4.6 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni

No	Paduan	Titik	Hardness (VHN)	Rata-Rata Hardness \pm Standar Deviasi (VHN)
1	Cu-10Ni	1	58,4	59,3 \pm 1,081
		2	60,5	
		3	59	
2	Cu-20Ni	1	71,9	71,76 \pm 0,7
		2	72,4	
		3	71	
3	Cu-30Ni	1	72,8	73,16 \pm 0,63
		2	73,9	
		3	72,8	
4	Cu-40Ni	1	74,2	74,13 \pm 0,11
		2	74	
		3	74,2	

Paduan logam Cu-10Ni dengan indentasi pada tiga titik memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 59,3 VHN. Logam paduan Cu-20Ni memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 71,76 VHN. Logam paduan Cu-30Ni memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 73,16 VHN. Logam paduan Cu-40Ni memiliki rata-rata kekerasan vickers sebesar 74,13 VHN. Paduan Cu-Ni merupakan paduan logam yang larut sempurna sehingga memiliki sifat mekanik yang baik. Seperti yang terlihat pada pengujian metalografi serta XRD, paduan Cu-Ni hanya terbentuk fasa tunggal yaitu fasa α Cu. Hasil nilai kekerasan yang telah didapatkan ini, tidak terlalu terpengaruh dengan adanya porositas. Pada pengujian ini, dilakukan sesuai standar ASTM E92. Hanya sedikit porositas yang terdapat di dalam seluruh spesimen yang digunakan.



Gambar 4.11 Pengaruh Penambahan Unsur Ni terhadap Nilai Kekerasan Paduan Cu-Ni

Gambar 4.11 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Cu-Ni yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Ni. Semakin besar penambahan unsur Ni pada logam paduan, maka nilai kekerasan semakin besar. Paduan Cu-40Ni memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan paduan Cu-30Ni dan Cu-20Ni. Paduan Cu-10Ni memiliki nilai kekerasan paling rendah. Unsur Cu memiliki sifat mekanik lebih baik jika ditambahkan unsur Ni. Hal ini disebabkan karena unsur Ni merupakan unsur yang tangguh. Nikel murni bersifat tangguh dan berwarna putih kesilveran yang memiliki konduktifitas listrik dan panas yang tinggi (Frederick, 1956). Paduan Cu-Ni merupakan paduan logam yang membentuk larutan padat substitusional berupa fasa α Cu. Paduan jenis ini memiliki sifat mekanik yang baik, salah satunya nilai kekerasan. Seiring bertambahnya unsur Ni dalam paduan Cu-Ni, maka nilai kekerasannya akan meningkat. Paduan Cu-Ni merupakan salah satu jenis paduan isomorfus. Pada paduan ini, ketika suatu unsur ditambahkan ke dalam unsur yang lain maka akan meningkatkan sifat mekanik sampai suatu batas tertentu.



Sifat mekanik kemudian akan menurun ketika batas penambahan dari unsur tersebut telah melewati batas (Frederick, 1956). Penambahan komposisi Ni dari 10-30% ke dalam Cu merupakan penambahan yang dapat menaikkan sifat mekanik, salah satunya nilai *hardness*.

4.8 Perbandingan Material Standard Dengan Paduan Cu-Ni

Pada hasil penelitian yang di dapatkan nilai *tensile strength*, nilai *hardness*, nilai *yield strength* dan nilai *corrosion rate*. Dari hasil tersebut selanjutnya dibandingkan dengan meterial standar dan paduan Cu-Ni untuk aplikasi material ball valve yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Material AISI 430 dan Paduan Cu-Ni

Material Untuk Ball Valve		Hasil Penelitian			
<i>Properties</i>	Standard	Cu-10Ni	Cu-20Ni	Cu-30Ni	Cu-40Ni
<i>Corrosion Rate</i>	0,9 mpy	2,1136918 mpy	1,4773424 mpy	0,967073 mpy	0,5988406 mpy
<i>Tensile Strength</i>	415 MPa	143,7 MPa	112,7 MPa	116,7 MPa	89,1 MPa
<i>Hardness</i>	90 VHN	59,3 VHN	71,76 VHN	73,16 VHN	74,13 VHN
<i>Yield Strength</i>	205 MPa	101,2 MPa	98,4 MPa	112,4 MPa	66,2 MPa
<i>Temperature Melting</i>	1425-1510 °C	1100 °C	1200 °C	1250 °C	1270 °C

Tabel 4.5 menunjukan perbandingan nilai *tensile strength*, nilai *hardness*, nilai *yield strength* dan nilai *corrosion rate* dari material AISI 430 dengan paduan Cu-Ni. Pada paduan Cu-10 Ni di dapatkan nilai *corrosion rate* sebesar 2,1136918 mpy dan untuk material AISI sendiri memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,9 mpy yang mana artinya masih belum mencapai nilai *corrosion rate* AISI 430. Untuk nilai *tensile strength* paduan Cu-10Ni di dapatkan nilai



sebesar 143,7 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *tensile strength* 415 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *tensile strength* AISI 430. Untuk nilai *yield strength* paduan Cu-10Ni di dapatkan nilai sebesar 101,2 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *yield strength* 205 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *yield strength* AISI 430. Untuk nilai *hardness* paduan Cu-10Ni di dapatkan nilai sebesar 59,3 VHN dan material AISI 430 memiliki nilai *hardness* 90 VHN yang mana artinya masih belum mencapai nilai *hardness* AISI 430.

Pada paduan Cu-20 Ni di dapatkan nilai *corrosion rate* sebesar 1,4773424 mpy dan untuk material AISI sendiri memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,9 mpy yang mana artinya masih belum mencapai nilai *corrosion rate* AISI 430. Untuk nilai *tensile strength* paduan Cu-20Ni di dapatkan nilai sebesar 112,7 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *tensile strength* 415 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *tensile strength* AISI 430. Untuk nilai *yield strength* paduan Cu-20Ni di dapatkan nilai sebesar 98,4 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *yield strength* 205 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *yield strength* AISI 430. Untuk nilai *hardness* paduan Cu-20Ni di dapatkan nilai sebesar 71,76 VHN dan material AISI 430 memiliki nilai *hardness* 90 VHN yang mana artinya masih belum mencapai nilai *hardness* AISI 430.

Pada paduan Cu-30 Ni di dapatkan nilai *corrosion rate* sebesar 0,967073 mpy dan untuk material AISI sendiri memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,9 mpy yang mana artinya masih belum mencapai nilai *corrosion rate* AISI 430. Untuk nilai *tensile strength* paduan Cu-30Ni di dapatkan nilai sebesar 116,7 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *tensile strength* 415 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *tensile strength* AISI 430. Untuk nilai *yield strength* paduan Cu-30Ni di dapatkan nilai sebesar 112,4 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *yield strength* 205 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai



yield strength AISI 430. Untuk nilai *hardness* paduan Cu-30Ni di dapatkan nilai sebesar 73,16 VHN dan material AISI 430 memiliki nilai *hardness* 90 VHN yang mana artinya masih belum mencapai nilai *hardness* AISI 430.

Pada paduan Cu-40 Ni di dapatkan nilai *corrosion rate* sebesar 0,5988406 mpy dan untuk material AISI sendiri memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,9 mpy yang mana artinya masih belum mencapai nilai *corrosion rate* AISI 430. Untuk nilai *tensile strength* paduan Cu-40Ni di dapatkan nilai sebesar 89,1 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *tensile strength* 415 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *tensile strength* AISI 430. Untuk nilai *yield strength* paduan Cu-40Ni di dapatkan nilai sebesar 66,2 MPa dan material AISI 430 memiliki nilai *yield strength* 205 MPa yang mana artinya masih belum mencapai nilai *yield strength* AISI 430. Untuk nilai *hardness* paduan Cu-40Ni di dapatkan nilai sebesar 74,13 VHN dan material AISI 430 memiliki nilai *hardness* 90 VHN yang mana artinya masih belum mencapai nilai *hardness* AISI 430.

Dari paduan Cu-10Ni, Cu-20Ni, Cu-30Ni, dan Cu-40 Ni yang lebih baik ialah paduan Cu-30Ni. Keseluruhan nilai yang dimiliki oleh paduan Cu-Ni terpaut jauh lebih rendah dengan baja AISI 430. Hal ini disebabkan karena adanya cacat porositas pada paduan Cu-Ni. Porositas mempengaruhi sifat mekanik suatu material. Semakin banyak porositas yang terbentuk, maka sifat mekanik akan semakin buruk (Wibowo, 2012).

Keseluruhan nilai *tensile strength*, nilai *hardness*, nilai *yield strength* dan nilai *corrosion rate* dari baja AISI 430 memang lebih baik dari paduan Cu-Ni pada penelitian ini. Oleh karena itu, paduan Cu-Ni pada penelitian ini belum dapat menggantikan baja AISI 430 sebagai material *ball valve* namun sudah memenuhi kekuatan minimal *ball valve*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Unsur Ni mempengaruhi struktur mikro paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, maka bagian terang pada fasa α Cu memiliki luas area yang lebih besar.
2. Unsur Ni mempengaruhi nilai kekerasan dan kekuatan tarik paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, nilai kekerasan dan kekuatan tarik paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Cu-40Ni dengan nilai sebesar 74,13 VHN. Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh logam paduan Cu-10Ni dengan nilai sebesar 59,3 VHN. Nilai *ultimate tensile strength* pada logam paduan Cu-20Ni sebesar 112,7 MPa dan Cu-30Ni sebesar 116,7 MPa.
3. Unsur Ni mempengaruhi nilai *corrosion rate* paduan Cu-Ni. Semakin bertambahnya unsur Ni dalam paduan, nilai *corrosion rate* semakin rendah dan ketahanan korosinya meningkat. Nilai *corrosion rate* pada logam paduan Cu-10Ni sebesar 2,1136918 mpy, Cu-20Ni sebesar 1,4773424 mpy, Cu-30Ni sebesar 0,967073 mpy dan Cu-40Ni sebesar 0,5988406 mpy.
4. Dari paduan Cu-10Ni, Cu-20Ni, Cu-30Ni, dan Cu-40 Ni yang lebih baik ialah paduan Cu-30Ni untuk material *ball valve* (sesuai dengan lampiran 14).

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian ini kedepannya, diantaranya:

1. Menggunakan jenis cetakan selain *sand casting* pada proses pengecoran logam paduan atau mengontrol *grain size* pasir.



2. Menggunakan *gating system* yang lengkap untuk proses pengecoran logam paduan
3. Menggunakan alat *temperature control* untuk mengamati proses peleburan logam di dalam *crucible furnace*.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1999. *ASTM C958 Standard Test Method for Particle Size Distribution of Alumina or Quartz by X-Ray Monitoring of Gravity Sedimentation*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1999. *ASTM E-407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. USA: ASM International.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. USA: ASM International.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. USA: ASM International.
- _____. 1992. *ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams*. USA: ASM International.
- _____. 2013. *ASME Valves-Flanged, Threaded, and Welding End*. USA: ASM International.
- Agung Dwi Wibowo. 2012. *Pengaruh Variasi Jenis Cetakan Dan Penambahan Serbuk Dry Cell Bekas Terhadap Porositas Hasil Remelting Al-9Si Berbasis Piston Bekas*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret..

- Avner, Sidney H. 1974. ***Introduction to Physical Metallurgy***. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Callister, William. 2007. ***Material Science and Engineering An Introduction***. New York: JohnWiley & Sons, Inc.
- Collini, Luca. 2012. ***Copper Alloys - Early Applications and Current Performance - Enhancing Processes***. InTech
- Frederick N Rhines, 1956. ***Phase Diagrams in Metallurgy***. Toronto : McGraw Hill Book Company.
- Ilangovan S, 2013. ***Effects Of Tin On Hardness, Wear Rate And Coefficient Of Friction Of Cast Cu-Ni-Sn Alloys***. India: Taylor's University
- L.L. Shreir, 1979. ***Corrosion Metal / Enviroment Reactions***.
- L. Skousen Philip, 1997. ***Valve Handbook***. USA: McGraw-Hill Book Co.
- P. Groover, M. 2010. ***Fundamental of Modern Manufacture 4th edition***. USA: John Wiley & Sons, Inc
- P.N Rao,2001. ***Manufacturing Technology Foundry, Forming, and Welding***. Malaysia: McGraw Hill Book Company
- R. Brown John, 2000. ***Foseco Ferrous Foundryman's Handbook***. London: Butterworth-Heinemann
- Reinhart Fred M, 1972. ***Corrosion Of Materials In Surface Seawater After 12 AND 18 Months Of Exposure***. California: Naval Cicil Engineering Laboratory.

- Sudjana, Hadi. 2008. ***Teknik pengecoran untuk SMK***. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Yusop Nurul Khalidah, 2015. ***Structural and Electrical Characterizations of CuNi Thin Film Resistors***. Pulau Pinang : Universiti Sains Malaysia
- William D. Jenkins, 1957. ***Tensile Properties of Copper, Nickel, and 70-Percent-Copper-30-Percent-Nickel and 30-Percent-Copper- 70-PercentNickel Alloys at High Temperatures***. Washington: Journal of Research of the National Bureau of Standards

LAMPIRAN

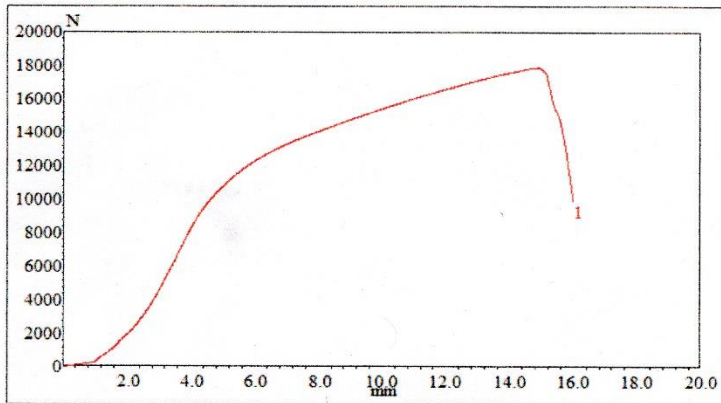
Lampiran 1: Hasil uji tarik Cu-10Ni



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 12-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield N	Yield strength MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong.
Cu-10Ni	12.60	124.69	12616.6	101.2	17919.6	143.7	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

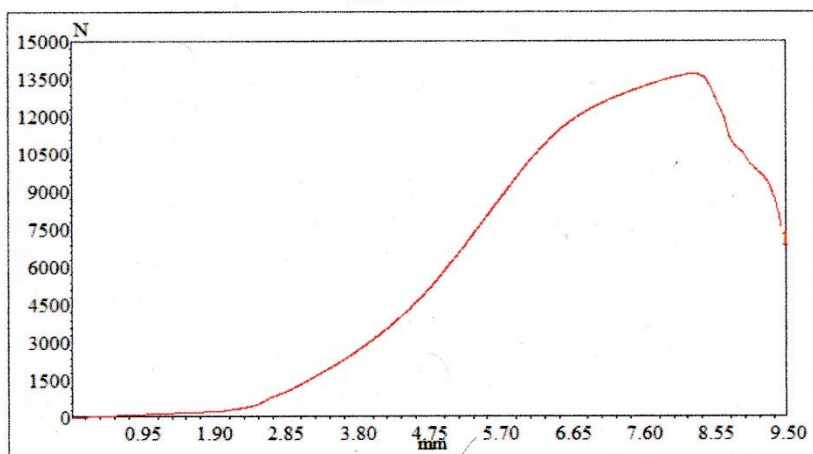
Lampiran 2: Hasil uji tarik Cu-20Ni



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 12-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield N	Yield strength MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong.
Cu-20Ni	12.45	121.74	11981.5	98.4	13714.2	112.7	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

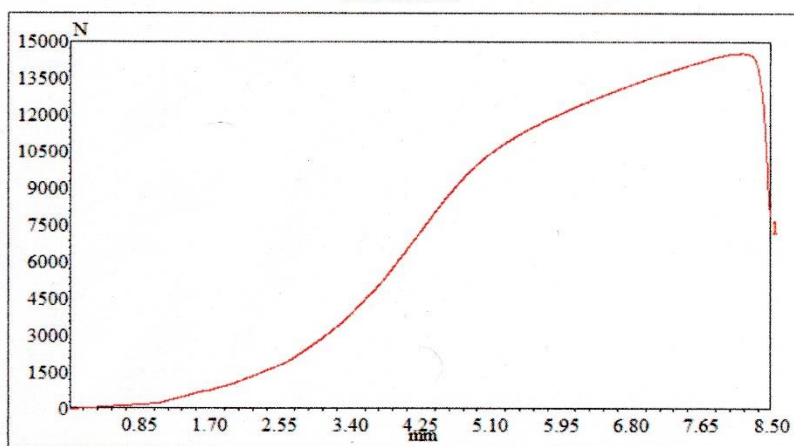
Lampiran 3: Hasil uji tarik Cu-30Ni



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 12-12-2017

Test Result



Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield N	Yield strength MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong.
Cu-30Ni	12.60	124.69	14017.1	112.4	14553.6	116.7	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

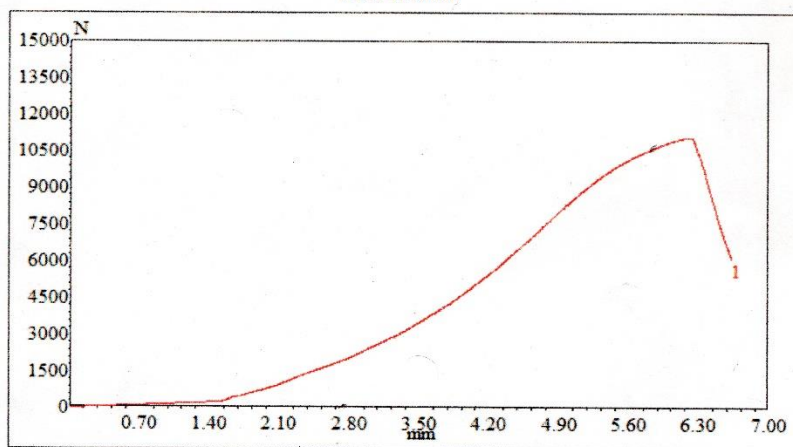
Lampiran 4: Hasil uji tarik Cu-40Ni



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

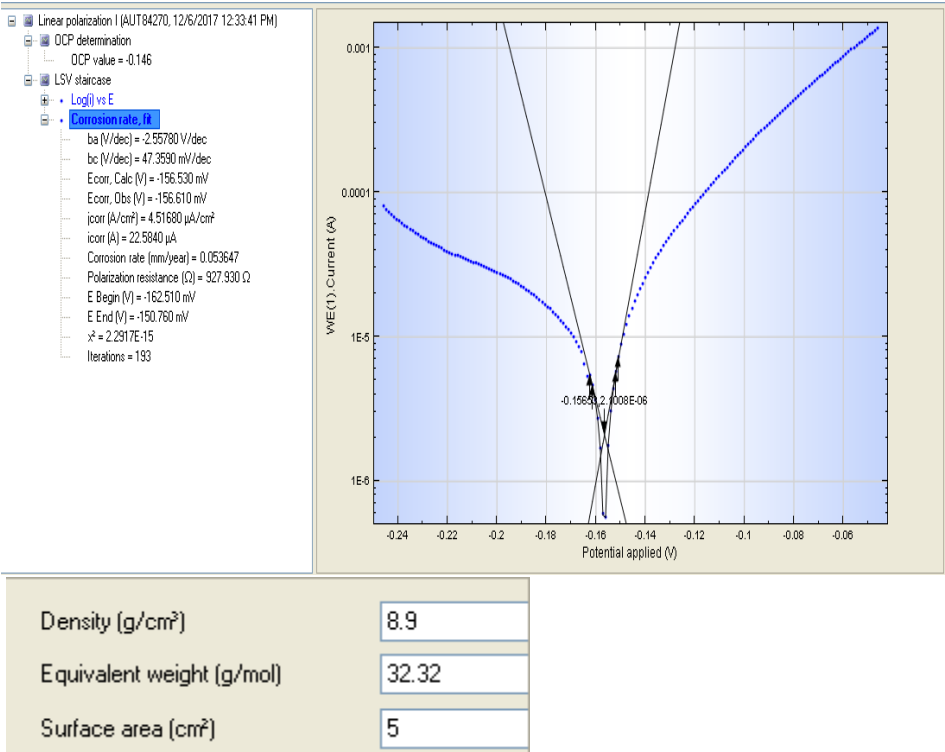
Test Date : 12-12-2017

Test Result

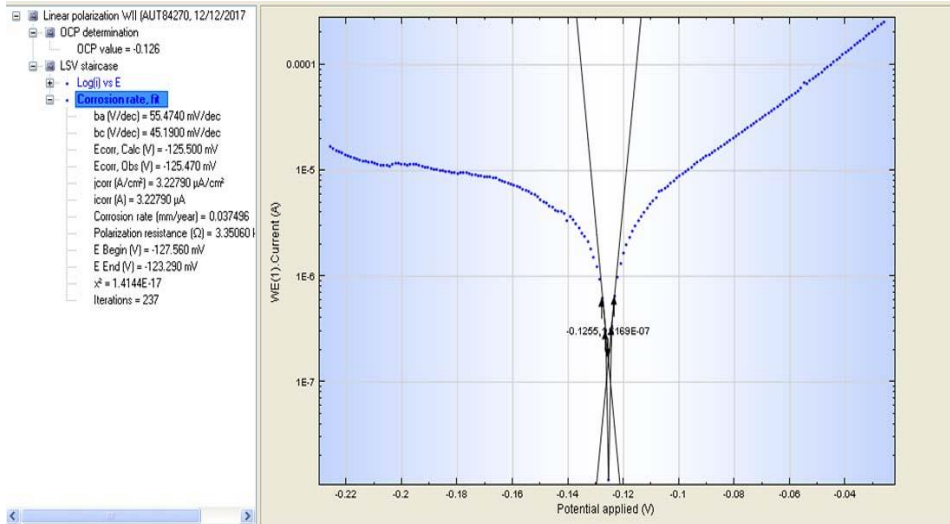


Sample Code	Diameter mm	Area mm ²	Yield N	Yield strength MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong.
Cu-40Ni	12.60	124.69	8250.1	66.2	11113.6	89.1	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

Lampiran 5 Hasil uji tafel Cu-10Ni



Lampiran 6 Hasil uji tafel Cu-20Ni



Density (g/cm³)

8.9

Equivalent weight (g/mol)

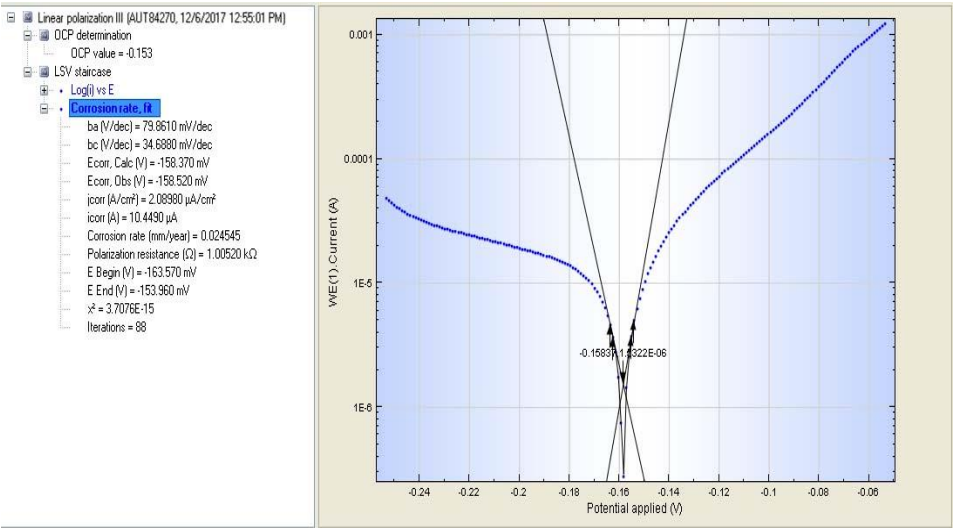
31.96

Surface area (cm²)

5

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

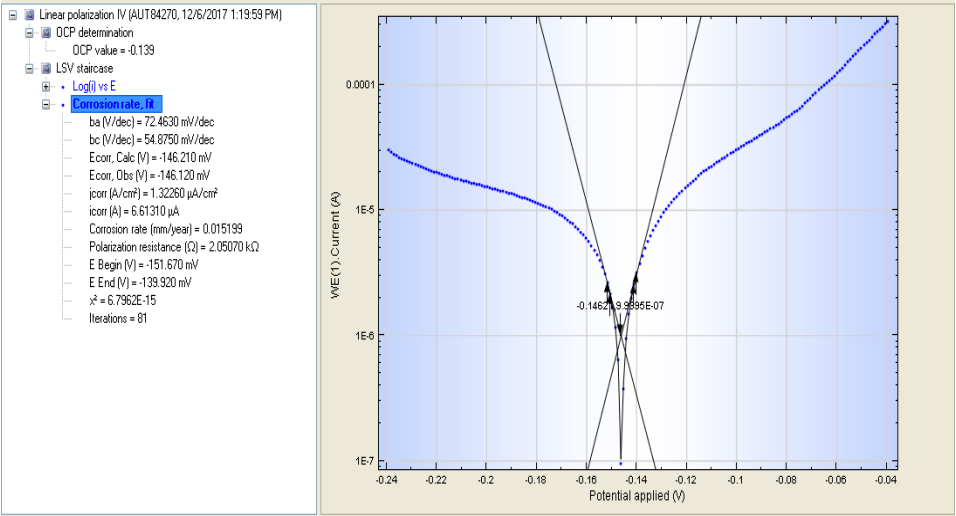
Lampiran 7 Hasil uji tafel Cu-30Ni



Density (g/cm ³)	8.9
Equivalent weight (g/mol)	31.61
Surface area (cm ²)	5

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

Lampiran 8 Hasil uji tafel Cu-40Ni



Density (g/cm ³)	8.9
Equivalent weight (g/mol)	31.27
Surface area (cm ²)	5

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

Lampiran 9 Hasil uji XRF Paduan Cu-Ni

10. Logam W1 (23.1677 gr)

Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0.2	0%	P	0.2	0%	P2O5	0.5	0%	P2O5	0.5	0%
Ca	0.17	0%	Ca	0.18	0%	CaO	0.21	0%	CaO	0.2	0%
Ni	8.03	0%	Ni	8.02	0%	NiO	8.18	0%	NiO	8.19	0%
Cu	91.57	0%	Cu	91.61	0%	CuO	91.13	0%	CuO	91.13	0%

11. Logam W2 (39.1969 gr)

Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	0.5	0%	Si	0.5	0%	SiO2	0.9	0%	SiO2	1	0%
P	0.3	0%	P	0.2	0%	P2O5	0.54	0%	P2O5	0.4	0%
Ca	0.28	0%	Ca	0.29	0%	CaO	0.34	0%	CaO	0.33	0%
Fe	0.565	0%	Fe	0.561	0%	Fe2O3	0.657	0%	Fe2O3	0.658	0%
Ni	21.8	0%	Ni	21.7	0%	NiO	21.9	0%	NiO	22	0%
Cu	76.42	0%	Cu	76.59	0%	CuO	75.51	0%	CuO	75.46	0%
Zn	0.14	0%	Zn	0.14	0%	ZnO	0.13	0%	ZnO	0.14	0%

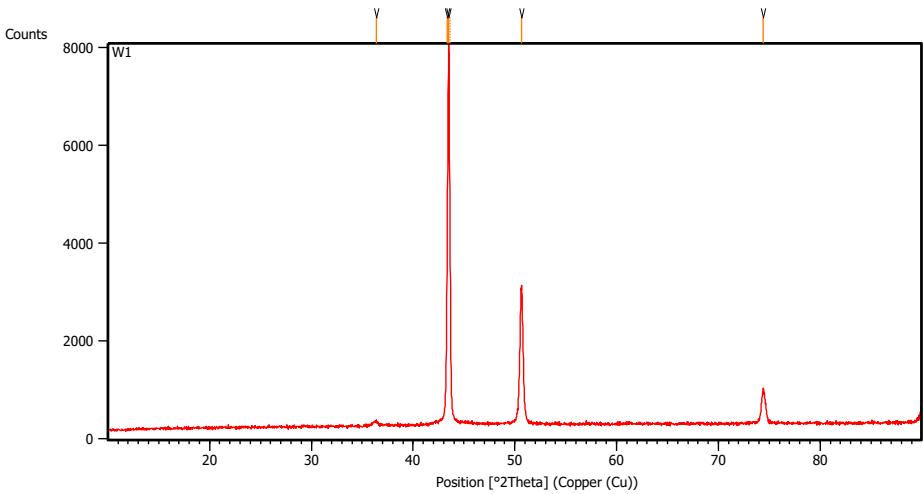
12. Logam W3 (61.5072 gr)

Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0.2	0%	P	0.3	0%	P2O5	0.5	0%	P2O5	0.52	0%
Ca	0.17	0%	Ca	0.18	0%	CaO	0.2	0%	CaO	0.19	0%
Fe	0.052	0%	Fe	0.063	0%	Fe2O3	0.07	0%	Fe2O3	0.062	0%
Ni	29.5	0%	Ni	29.4	0%	NiO	29.8	0%	NiO	29.9	0%
Cu	70.08	0%	Cu	70.15	0%	CuO	69.42	0%	CuO	69.36	0%

13. Logam W4 (45.1623 gr)

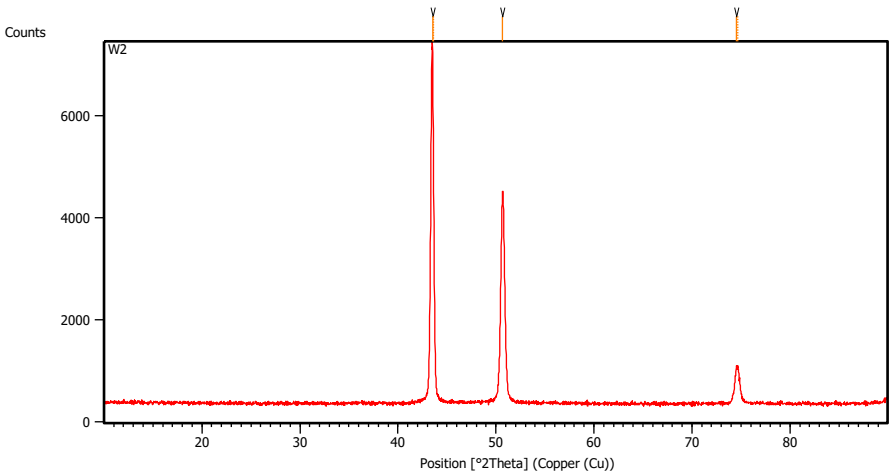
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Fe	0.065	0%	Fe	0.06	0%	Fe2O3	0.07	0%	Fe2O3	0.071	0%
Ni	30.4	0%	Ni	30.4	0%	NiO	30.9	0%	NiO	30.9	0%
Cu	69.56	0%	Cu	69.53	0%	CuO	69.02	0%	CuO	69.01	0%

Lampiran 10 Hasil uji XRD Paduan Cu-10Ni



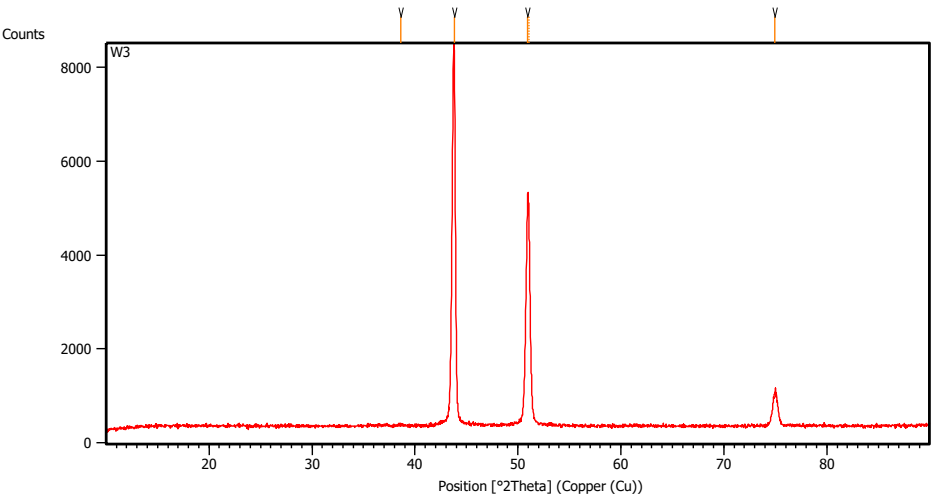
<u>Pos.</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>Height</u> <u>[cts]</u>	<u>FWHM Left</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>d-spacing</u> <u>[Å]</u>	<u>Rel. Int.</u> <u>[%]</u>
<u>36.3743</u>	<u>88.45</u>	<u>0.4015</u>	<u>2.46999</u>	<u>1.14</u>
<u>43.3655</u>	<u>4133.04</u>	<u>0.1020</u>	<u>2.08489</u>	<u>53.19</u>
<u>43.5057</u>	<u>7770.06</u>	<u>0.1632</u>	<u>2.07850</u>	<u>100.00</u>
<u>43.6478</u>	<u>3353.01</u>	<u>0.0816</u>	<u>2.07721</u>	<u>43.15</u>
<u>50.6814</u>	<u>2759.04</u>	<u>0.2652</u>	<u>1.79976</u>	<u>35.51</u>
<u>74.4081</u>	<u>724.78</u>	<u>0.1020</u>	<u>1.27395</u>	<u>9.33</u>

Lampiran 11 Hasil uji XRD Paduan Cu-20Ni



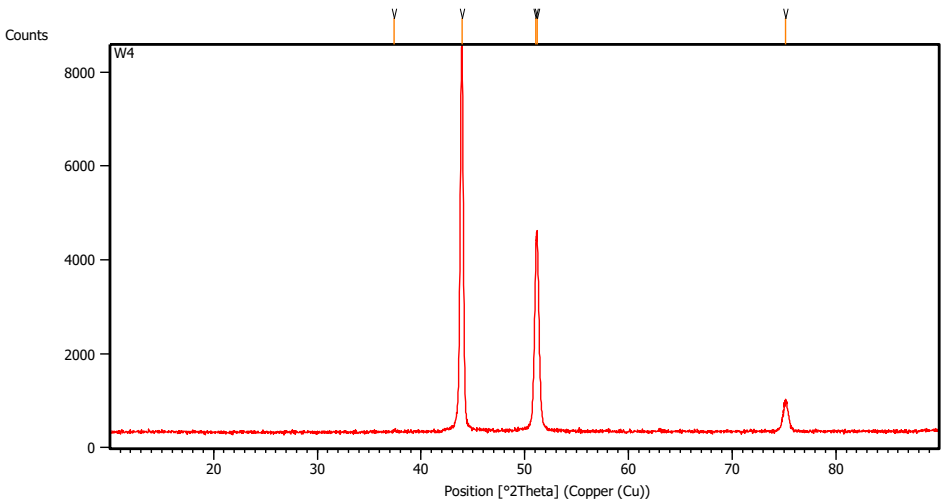
<u>Pos.</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>Height</u> <u>[cts]</u>	<u>FWHM</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>Left</u>	<u>d-spacing</u> <u>[Å]</u>	<u>Rel. Int.</u> <u>[%]</u>
<u>43.5394</u>	<u>6739.48</u>	<u>0.3060</u>		<u>2.07697</u>	<u>100.00</u>
<u>43.6386</u>	<u>4438.62</u>	<u>0.0612</u>		<u>2.07763</u>	<u>65.86</u>
<u>50.6922</u>	<u>4116.34</u>	<u>0.3672</u>		<u>1.79941</u>	<u>61.08</u>
<u>74.5121</u>	<u>683.04</u>	<u>0.3264</u>		<u>1.27243</u>	<u>10.13</u>
<u>74.7068</u>	<u>672.38</u>	<u>0.1632</u>		<u>1.27275</u>	<u>9.98</u>

Lampiran 12 Hasil uji XRD Paduan Cu-30Ni



<u>Pos.</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>Height</u> <u>[cts]</u>	<u>FWHM Left</u> <u>[°2Th.]</u>	<u>d-spacing</u> <u>[Å]</u>	<u>Rel. Int.</u> <u>[%]</u>
<u>38.6490</u>	<u>21.49</u>	<u>0.8029</u>	<u>2.32969</u>	<u>0.30</u>
<u>43.8565</u>	<u>7059.38</u>	<u>0.2509</u>	<u>2.06439</u>	<u>100.00</u>
<u>50.9598</u>	<u>4904.80</u>	<u>0.1632</u>	<u>1.79058</u>	<u>69.48</u>
<u>51.0481</u>	<u>4683.69</u>	<u>0.0816</u>	<u>1.79213</u>	<u>66.35</u>
<u>74.9760</u>	<u>711.67</u>	<u>0.4488</u>	<u>1.26570</u>	<u>10.08</u>

Lampiran 13 Hasil uji XRD Paduan Cu-40Ni



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	Left	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.4383	43.21	0.2007		2.40220	0.53
43.9554	8147.73	0.3178		2.05998	100.00
51.1016	4021.67	0.1632		1.78595	49.36
51.1974	4165.76	0.1004		1.78431	51.13
75.1250	646.17	0.3346		1.26461	7.93

Lampiran 14 Hasil Perhitungan Paduan Cu-Ni Yang Direkomendasikan

Material Untuk Ball Valve		Hasil Penelitian			
<i>Properties</i>	Standard	Cu-10Ni	Cu-20Ni	Cu-30Ni	Cu-40Ni
<i>Corrosion Rate</i>	0,9 mpy	2,1136918 mpy	1,4773424 mpy	0,967073 mpy	0,5988406 mpy
<i>Tensile Strength</i>	415 Mpa	143,7 MPa	112,7 MPa	116,7 MPa	89,1 MPa
<i>Hardness</i>	90 VHN	59,3 VHN	71,76 VHN	73,16 VHN	74,13 VHN
<i>Yield Strength</i>	205 MPa	101,2 MPa	98,4 MPa	112,4 MPa	66,2 MPa
<i>Temperature Melting</i>	1425-1510 °C	1100 °C	1200 °C	1250 °C	1270 °C

Kategori Nilai: 1= Kurang
2= Kurang baik
3= Baik
4= Lebih baik

Material Untuk Ball Valve		Hasil Penelitian			
<i>Properties</i>		Cu-10Ni	Cu-20Ni	Cu-30Ni	Cu-40Ni
<i>Corrosion Rate</i>		1	2	3	4
<i>Tensile Strength</i>		4	2	3	1
<i>Hardness</i>		1	2	3	4
<i>Yield Strength</i>		3	2	4	1
<i>Temperature Melting</i>		4	3	2	1
Total Nilai		13	11	15	12

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tapaktuan, 8 Juni 1995, dan merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Muhammadiyah Kutacane, SDN 54 Banda Aceh, MTsN Model Banda Aceh, dan SMA Labschool Banda Aceh. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 02511440000117. Pada Teknik Material penulis memilih bidang Manufaktur.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Ash-Haabul Kahfi, JMMI ITS, BEM ITS dan SPE ITS SC dan masing-masing pernah menjabat sebagai staff kaderisasi, staff FSLDJ, staff Ristek, dan Head of Education. Penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD dan LKMM TD. Di masa perkuliahan penulis berkesempatan untuk mengikuti kegiatan Make Future Singapore 2017 yang diadakan oleh *SHELL IDEAS360* di singapore

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Lafarge Cement Indonesia di plant Lhonga Aceh Besar pada bulan Juli 2016 dan di PT. Komatsu Indonesia di plant Cilincing Jakarta Utara Pada Bulan Juli 2017. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait **“Mengitung Lifetime Grade Plate Dengan Menggunakan Fitting Curve Melalui Trend Yang Didapatkan Di PT. Lafarge Cement Indonesia di plant Lhonga Aceh Besar Juli 2016”** dan **“Analisa Pengaruh Penggunaan Resin Furan dan Resin Alkali Phenol Terhadap Crack Steel Casting Tooth Bucket di plant Cilincing Jakarta Utara Pada Bulan Juli 2017”**.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “**Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Nikel (Ni) Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro Dan Ketahanan Korosi Paduan Tembaga Nikel (Cu-Ni) Sebagai Material Alternatif Untuk Pengecoran Ball Valve**”.

Email: yudhawahyuu@outlook.com